



UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE QUÍMICO
FARMACOBIOLOGÍA

“AISLAMIENTO DE PECTINA DE ALTO METOXILO DE NOPAL MEDIANTE
HIDRÓLISIS ÁCIDA Y SU APLICACIÓN COMO AGENTE GELIFICANTE EN
GOLOSINA SUAVE”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
QUÍMICO FARMACOBIOLOGO

PRESENTA
CINTHIA VANESA ROSAS GARCÍA

ASESOR
M.C. ROSA MARÍA GARCÍA MARTÍNEZ

MORELIA MICHOACÁN, AGOSTO 2013.



UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

FACULTAD DE QUÍMICO
FARMACOBIOLOGÍA

“AISLAMIENTO DE PECTINA DE ALTO METOXILO DE NOPAL MEDIANTE
HIDRÓLISIS ÁCIDA Y SU APLICACIÓN COMO AGENTE GELIFICANTE EN
GOLOSINA SUAVE”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
QUÍMICO FARMACOBIOLOGO

PRESENTA

p.Q.F.B. CINTHIA VANESA ROSAS GARCÍA

ASESOR

M.C. ROSA MARÍA GARCÍA MARTÍNEZ

MORELIA MICHOACÁN, AGOSTO 2013.

“La presente investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis de Alimentos en la Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, bajo la asesoría de la M.C. Rosa María García Martínez”.

DEDICATORIA

En honor a mis abuelos, quienes ya partieron; que aunque ya no están físicamente conmigo, siguen a mi lado guiándome, siempre presentes en todo lo que hago y en todos los momentos de mi vida.

Mi abuelito paterno Alfredo Rosas Murguía gracias por todo tu apoyo, por todos los recuerdos inolvidables, risas y cariño. Te llevo siempre en mi corazón.

A mi Mamá Virgen gracias por haber formado una parte tan importante en mi vida, por todos los recuerdos y risas compartidas. Nunca te voy a olvidar, te llevo siempre conmigo.

A mi papá Jesús García que le guardo un gran cariño y respeto.

Los extraño. Muchas Gracias por haber sido mis abuelos. A ustedes les dedico este trabajo y este logro.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a Dios que me dio la oportunidad de alcanzar una meta más en mi vida, demostrarme que siempre está conmigo, guiarme, y darme lo que tengo.

A mi querida UMSNH por darme la oportunidad de ser alguien de provecho.

Agradezco a mi padre Víctor Gonzalo Rosas Aceves por su amor, confianza y apoyo incondicional en toda mi vida, a mi madre María Carmen García Pérez por su apoyo, confianza, amor y consejos. A quienes les debó lo que soy, y quienes son un ejemplo a seguir para mí. A mi hermano Gonzalo Alfredo Rosas García gracias por ser mi hermano, por tantos juegos y momentos compartidos e inolvidables.

Muchas gracias a la M.C. Rosa María García Martínez, mi asesora de tesis, por brindarme su confianza, apoyo y orientación en este proyecto, por su paciencia, consejos y tiempo.

A mi esposo Diego Obed Velázquez Zavala quien compartió conmigo toda esta etapa de la universidad y la tesis, por sus consejos, apoyo y amor incondicional en todo momento. Gracias por haber estado conmigo en los momentos más difíciles de esta etapa, por ser mi amigo y compañero.

A “Chikis”, “Simba”, “Morgan”, “Tekis”, “G”, por las alegrías que me dan, por ese amor que te hace levantarte y sonreír, por haber estado conmigo en los momentos más difíciles, y que me ayudaron también a alcanzar esta meta.

Al Doctor José Octavio Rodiles López, mi revisor de tesis quien fue una gran ayuda, y también fue mi maestro gracias por todos los conocimientos transmitidos.

A la M.C. Diana Cecilia Cortés Maya, mi revisora de tesis, gracias por siempre estar dispuesta a ayudarme en este proyecto y por ser tan servicial.

A la Dra. Consuelo Cortés Penagos, mi revisora de tesis.

A mis familiares y amigos que de alguna forma compartieron conmigo esta etapa tan importante, así como también a mis maestros que a lo largo de mi carrera me enseñaron y dedicaron tiempo.

ÍNDICE GENERAL

I. RESUMEN.....	1
II. INTRODUCCIÓN.....	2
1. Nopal (<i>Opuntia ficus indica</i>).....	4
1.1. Origen.....	4
1.2. Distribución.....	5
1.3. Taxonomía.....	5
1.4. Características principales del género <i>Opuntia</i>	6
1.4.1. Características del <i>Opuntia ficus indica</i>	7
1.5. Morfología general.....	8
1.5.1. Raíz.....	9
1.5.2. Tallo.....	9
1.5.3. Hoja.....	10
1.5.4. Flor.....	10
1.5.5. Fruto.....	11
1.6. Composición química del nopal.....	12
1.6.1. Agua.....	12
1.6.2. Minerales y vitaminas.....	12
1.6.3. Carbohidratos.....	13
1.6.4. Componentes nitrogenados.....	14
1.6.5. Lípidos.....	14
1.6.6. Valor nutritivo del nopal.....	15
2. Alimento funcional.....	15
2.1. Clasificación de alimentos funcionales.....	15
2.2. Propiedades funcionales de los cladodios.....	16
2.3. Propiedades funcionales y medicinales del nopal.....	16
2.4. Usos del nopal.....	18
3. Fibra.....	20
3.1. Clasificación de la fibra.....	21
3.1.1. Fibra insoluble.....	21
3.1.2. Fibra soluble.....	21
3.1.3. Pectina.....	22
3.2. Origen.....	22
3.3. Localización y estructura de la pectina.....	23
3.4. Características sensoriales.....	23
3.5. Características físicas.....	23
3.5.1. Temperatura.....	23
3.5.2. Peso molecular de la pectina.....	24
3.5.3. pH.....	24
3.5.4. Precipitación.....	24
3.5.5. Solubilidad.....	24

3.6. Características químicas	24
3.6.1. Grado de esterificación	25
3.6.2. Grado de metoxilación	25
3.6.3. Enlaces de calcio	25
3.7. Clasificación de las pectinas.....	25
3.7.1. Pectina de alto metoxilo	25
3.7.2. Pectina de bajo metoxilo	26
3.8. Usos y aplicaciones de la pectina.....	27
3.8.1. Medicina.....	27
3.8.2. Industria alimentaria	27
3.8.3. Industria farmacéutica	28
3.9. Aprovechamiento de la pectina de nopal.....	28
3.10. Extracción de pectina	29
3.10.1. Hidrólisis ácida	30
3.10.2. Acción de enzimas	30
3.10.3. Medio alcalino	30
3.11. Rendimiento del proceso de extracción.....	30
3.12. Reología de los alimentos	31
3.12.1. Viscosidad.....	31
4. Gomas suaves	32
4.1. Antecedentes.....	32
4.2. Perfil del consumidor	33
4.3. Tendencias del mercado latinoamericano	33
III. OBJETIVOS	34
1. Objetivo general.....	34
2. Objetivos específicos	34
IV. JUSTIFICACIÓN.....	35
V. HIPÓTESIS.....	36
VI. MATERIAL Y MÉTODOS	37
1. Materia prima	37
2. Material y equipos.....	37
3. Metodología	38
3.1. Extracción de pectina de alto metoxilo.	38
4. Pruebas. Pectina comercial y pectina de nopal	41
4.1. Precipitación en etanol	41
4.2. Gelificación en agua caliente.....	41
4.3. Solubilidad en agua caliente.....	42
4.4. Solubilidad en etanol	42
5. Elaboración de las gomas	42
5.1. Metodología.....	42
5.1.1. Metodología gomas con pectina de nopal	43
5.2. Análisis bromatológico.....	43
5.2.1. Determinación de humedad	44
5.2.2. Determinación de cenizas	44
5.2.3. Determinación de lípidos.....	44

5.2.4. Determinación de nitrógeno proteico.....	44
5.2.5. Determinación de fibra cruda	44
5.3. Determinación de fibra dietética	44
5.4. Determinación de pH.....	44
5.5. Determinación de °Brix.....	44
5.6. Determinación de firmeza.....	44
5.7. Resistencia a la penetración.....	45
5.8. Pruebas panel	45
VII.RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	46
1. Rendimiento de nopal con y sin espinas.....	46
2. Extracción de pectina de alto metoxilo.....	46
3. Pectina comercial y alto metoxilo de nopal	47
4. Elaboración de las gomitas.....	48
5. Análisis bromatológico de las gomitas	49
6. Determinación de firmeza	50
7. Pruebas panel.....	51
VIII. CONCLUSIONES	62
IX. BIBLIOGRAFÍA	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica del nopal	5
Tabla 2. Clasificación taxonómica del <i>Opuntia ficus indica</i>	6
Tabla 3. Composición química en 100 g de nopal fresco.....	12
Tabla 4. Minerales y vitaminas en 100 g de nopal fresco	13
Tabla 5. Fibra soluble e insoluble en nopal fresco	14
Tabla 6. Contenido de aminoácidos esenciales en 100 g nopal fresco.....	14
Tabla 7. Análisis químico proximal en 100 g de nopal en base seca	15
Tabla 8. Tipos de pectina	26
Tabla 9. Pruebas comparativas.....	48
Tabla 10. Análisis proximal de los diferentes tipos de golosinas	49
Tabla 11. Referencia de las gomitas. Grupo Bimbo, 2012.....	50
Tabla 12. Resultados de firmeza.....	50
Tabla 13. Hoja para la evaluación de las gomitas.....	52
Tabla 14. Significancia de color	52
Tabla 15. Significancia de olor	54
Tabla 16. Significancia de sabor	56
Tabla 17. Significancia de textura	58
Tabla 18. Flavor	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Opuntia ficus indica</i>	4
Figura 2. Género <i>Opuntia</i>	7
Figura 3. <i>Cylindropuntia</i>	7
Figura 4. <i>Platyopuntia</i>	7
Figura 5. <i>Opuntia ficus indica</i>	8
Figura 6. Raíz de la planta <i>Opuntia ficus indica</i>	9
Figura 7. Tallo de la planta <i>Opuntia ficus indica</i>	10
Figura 8. Hoja de la planta <i>Opuntia ficus indica</i>	10
Figura 9. Flor de la planta <i>Opuntia ficus indica</i>	11
Figura 10. Fruto de la planta <i>Opuntia ficus indica</i>	12
Figura 11. Estructura química de la pectina (Calvo, 1991).	23
Figura 12. Proceso de extracción de la pectina (Arizmendi, 2004).	29
Figura 13. Metodología optimizada para la extracción de pectina	38
Figura 14. Selección.	40
Figura 15. Lavado.	40
Figura 16. Desinfección.	40
Figura 17. Ecurrido.....	40
Figura 18. Picado.....	40
Figura 19. Pesado.....	40
Figura 20. Molienda.	40
Figura 21. Extracción HCl.	40
Figura 22. Centrifugación.....	40
Figura 23. Concentración.....	41
Figura 24. Precipitación.	41
Figura 25. Recuperación.....	41
Figura 26. Secado.....	41
Figura 27. Molienda.	41
Figura 28. Pectina Seca.....	41
Figura 29. Procedimiento establecido por la PROFECO, 2010.....	43
Figura 30. Elaboración de las gomitas	43
Figura 31. Gomitas de grenetina.....	48
Figura 32. Gomitas de pectina comercial.....	48
Figura 33. Gomita de pectina de nopal de alto metoxilo.	49
Figura 34. Textura de las gomitas.....	51
Figura 35. Análisis estadístico de color.....	53
Figura 36. Porcentaje de aceptación en color.....	54
Figura 37. Análisis estadístico de olor.....	55
Figura 38. Porcentaje de aceptación en olor.....	56

Figura 39. Análisis estadístico de sabor.....	57
Figura 40. Porcentaje de aceptación en sabor.....	58
Figura 41. Análisis estadístico de textura.....	59
Figura 42. Porcentaje de aceptación en textura.....	60
Figura 43. Porcentaje de aceptación de las gomitas.....	61

I. RESUMEN

La pectina es una sustancia de origen vegetal que se presenta principalmente en los frutos, y que tiene por característica general la de ser un agente gelificante natural, y puede ser clasificada como polisacárido complejo, y una fibra importante como factor nutricional.

Las pectinas de alto metoxilo son las que tienen un grado de esterificación o de gelificación por arriba del 50%. El método más conocido para extraer pectina de alto metoxilo es la hidrólisis ácida, y con este método se logra tener una pectina que cumple con los requerimientos del mercado.

En este trabajo se realizó la optimización y estandarización de un proceso para la extracción de pectina de alto metoxilo, buscando aprovechar un recurso natural basto en México como es el nopal; y para ello se utilizó una modificación al procedimiento de Arizmendi (2004), obteniendo aproximadamente 2 g de pectina de alto metoxilo por cada 100 g de nopal. Posteriormente, la pectina de alto metoxilo se usó como base principal para la elaboración de gomitas comestibles suaves. Como referencia se prepararon gomitas hechas a base de grenetina, y otra a base de pectina comercial.

Las gomitas hechas con nopal tienen la particularidad de presentar una gelificación mayor y con una consistencia dura, no deseada como producto terminado. De acuerdo a las características finales del producto terminado se concluyó combinar grenetina y pectina de alto metoxilo de nopal; posteriormente se realizó la evaluación nutrimental de cada producto terminado y se determinó el grado de aceptabilidad mediante pruebas panel; teniendo las gomitas de pectina de alto metoxilo un grado de aceptabilidad de 77.2% ($p < 0.05$).

Palabras claves: Nopal, pectina de alto metoxilo, agente gelificante, fibra, alimento funcional y gomitas.

II. INTRODUCCIÓN

Los polisacáridos de plantas, epifitos y extractos animales son una fuente de aditivos interesantes para diversas industrias, en particular para la industria farmacéutica y alimentaria. Los polisacáridos vegetales que provienen de la familia *Cactaceae* han sido usados empíricamente para modificar las propiedades de algunos productos (Cai et al, 2007).

“Nopal” es el nombre común que reciben las cactáceas del género *Opuntia* (Granados y Castañeda, 2000). El nopal es una planta que sobrevive a climas secos y desérticos y que se desarrolla en suelos calcáreos. Esta es endémica de América, y del cual se conoce 258 especies, y 100 de ellos se encuentran en México y se informa que existe más de 10,000 ha de plantaciones especializadas en la producción de nopal para el consumo humano (Aza et al, 2011).

Este tipo de cactáceo se encuentran en diferentes condiciones extremas, ya sea de clima o de suelo, aunque generalmente se desarrollan en las regiones subtropicales de clima árido y semiárido donde las precipitaciones pluviales alcanzan entre 400 y 750 mm anuales y de 13 a 18°C. Actualmente en México el nopal ocupa un área de 3 millones de ha, mayoritariamente silvestres, y de las cuales se extraen productos con numerosas aplicaciones (SIAP-SAGARPA, 2011).

La palabra pectina se deriva del griego “*pektos*” que significa solidificar. Esta fue descubierta por Vauguelin (1790) pero no fue caracterizada sino hasta 1825 por Braconnot, quien descubrió que esta sustancia es el principal agente gelificante en las frutas y la llamó pectina, además descubrió que era la responsable de la formación de jaleas cuando se calentaba a ebullición la fruta con azúcar (Askel, 1987).

La Sociedad Química Americana decidió en 1927 estandarizar una nomenclatura para nombrar estas sustancias y en 1944 esta fue aceptada. El concepto “pectina” se definió como aquellos ácidos pécticos capaces de formar un gel estándar cuando se combinan en proporciones adecuadas con la fruta, azúcar, agua, o ácidos. Las sustancias pécticas comúnmente se encuentran en todos los tejidos de las plantas. La pectina es muy importante desde el punto de vista fisiológico; la parte intermedia del albedo y las capas entre cada una de las paredes celulósicas se componen casi por completo de sustancias pécticas.

Estas sustancias son los compuestos derivados de los carbohidratos de naturaleza coloidal, ya que contienen como unidad básica el ácido galacturónico, el cual al unirse con otras moléculas similares forman una cadena de ácido poli-galacturónico. Los grupos carboxilos de esta sustancia pueden estar parcialmente o completamente neutralizados (Ferreira, 1990).

En busca de aprovechar la gran variedad de productos perecederos de nuestro país y teniendo en cuenta que el nopal por sus aspectos agrícolas es una buena alternativa para el desarrollo de productos agroindustriales se pretende extraer la pectina del mismo (Carreto y Quiroz, 1984).

En este trabajo se busca extraer la pectina del nopal mediante hidrólisis ácida y utilizada como agente gelificante en la elaboración de gomitas suaves, obteniendo una gomasina diferente con un aporte benéfico a la salud apta para todas las edades, dado las propiedades funcionales de la fibra soluble presente.

1. NOPAL (*Opuntia ficus indica*)

El nopal (Fig. 1) es una planta extremadamente tolerante a altas temperaturas y a la falta de lluvia. El género *Opuntia* se adapta fácilmente a las zonas áridas caracterizadas por condiciones secas, lluvias erráticas y tierras pobres sujetas a erosión (Aza et al, 2011).

El rango óptimo de temperatura de crecimiento está entre 16°C y 28°C, y soportando una temperatura máxima de 35°C, fuera del cual la brotación se ve afectada. Las bajas temperaturas afectan al cultivo, pudiendo causar hasta su muerte, y con una tolerancia a temperaturas mínimas en el orden de 10°C a 0°C. (SEMARNAT, 2007).



Figura 1. *Opuntia ficus indica*

1.1. ORIGEN

La planta de nopal ha sido y es un elemento esencial desde tiempos primitivos y hasta la actualidad. Los antiguos pobladores denominaban a la planta del nopal, como *nochtli* o *nopalli* y pertenece al género de los *Opuntia* y *Nopalea* (Chaidez, 2010).

Los nopales están íntimamente relacionados con las antiguas civilizaciones mesoamericanas, en modo particular a la historia de México, y su centro de origen genético; por ejemplo, en el escudo de México figura un águila posada sobre un nopal, un símbolo que ha llegado hasta nuestros días del jeroglífico de la Gran Tenochtitlán y significa “sitio del nopal que crece sobre la piedra” (Granados y Castañeda, 2000).

Los nopales son originarios de América tropical y subtropical, sin embargo, hoy en día se encuentran en una gran variedad de condiciones agroclimáticas, en forma silvestre o cultivada, en todo el continente americano. Se han difundido a África, Asia, Europa y Oceanía donde también se cultivan o se encuentran de forma silvestre (Sáenz et al, 2007).

1.2. DISTRIBUCIÓN

El nopal es endémico del continente americano y en específico de América Tropical. Su distribución en el continente americano se encuentra desde Canadá a Chile, e incluye Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Estados Unidos, México, Perú, y Venezuela y varios países de América Central (Abraján, 2008).

Existen 258 especies reconocidas, y 100 se encuentran en México (Chaidez, 2010). En México los estados que más destacan son Distrito Federal, Morelos en la entidad de Tlalnepantla, Puebla, Michoacán sobresaliendo Uruapan, San Luis Potosí, Guanajuato, Baja California, Jalisco, Oaxaca, Estado de México, y Zacatecas (Vite et al, 1999).

1.3. TAXONOMÍA

La taxonomía del nopal es muy compleja, sólo un intenso trabajo de campo puede permitir reconocer e identificar las especies, sus variedades y adaptaciones reflejadas en su fenotipo (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

Tabla 1. Clasificación taxonómica del nopal

Reino:	<i>Vegetal</i>
Sub-reino:	<i>Embryophyta</i>
División:	<i>Angioserma</i>
Clase:	<i>Dicotiledoneae</i>
Sub-clase:	<i>Dialipetalas</i>
Orden:	<i>Opuntiales</i>
Familia:	<i>Cactaceae</i>
Tribu:	<i>Opuntiae</i>
Sub-familia:	<i>Opuntioideae</i>
Género:	<i>Opuntia</i>
Sub-género:	<i>Platyopuntia</i>
Especie:	Varios nombres

(Bravo-Hollis, 1978)

El nombre científico fue asignado por Tournefort en 1700, por su semejanza con una planta espinosa que crecía en el poblado de *Opus* en Grecia (Sáenz et al, 2007).

El nombre común que reciben las cactáceas del género *Opuntia* es “nopal” y sus familias son originarias de América. Actualmente el nopal se clasifica de la siguiente manera: pertenece a la familia *Cactaceae* y género *Opuntia*, que se divide en los subgéneros: *A. cylindropuntia*, *C. corynopuntia*, *D. opuntia* y *E. stenopuntia*, que están clasificados en series; contiene 22 series y 377 especies, y de los cuales 104 se encuentran

silvestres en México y de éstas 60 especies son mexicanas (Granados y Castañeda, 2000).

Sin embargo, hay sólo de 10 a 12 especies, hasta ahora, utilizadas por el hombre, entre éstas se encuentran, como especie para alimento: *Opuntia ficus indica*, *O. amyclaea*, *O. xocconostle*, *O. megacantha* y *O. streptacantha*. Y como especies silvestres: *Opuntia hyptiacantha*, *O. leucotricha* y *O. robusta*. De todas estas especies la más común es *Opuntia ficus indica* (Ruiz y Guerrero, 2009).

El género *Opuntia* (ver tabla 2) comprende plantas bien definidas, que en el caso del nopal pueden ser rastreros o frutescentes cuando tiene ramificado, o arborescente cuando los cladodios viejos toman una forma cilíndrica (Granados y Castañeda, 2000).

Las características de las especies ya citadas son variables, diferenciándose en la forma de cladodios, presencia o ausencia de espinas, en el tamaño y color de los frutos y en otras características botánicas (Aza et al, 2011).

Tabla 2. Clasificación taxonómica del *Opuntia ficus indica*

Reino	Plantae
Sub-reino:	<i>Tracheobionta</i>
División:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Magnoliopsida</i>
Sub-clase:	<i>Caryophyllidae</i>
Orden:	<i>Caryophyllales</i>
Familia:	<i>Cactaceae</i>
Sub-familia:	<i>Opuntioideae</i>
Tribu:	<i>Opuntieae</i>

(Murray, 2000)

1.4. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL GÉNERO *Opuntia*

Estas son planta suculentas, arborescentes, arbustivas o rastreras, simples o cespitosas, y generalmente espinosas (Fig. 2). Tronco bien definido o con ramas desde la base, erectas, extendidas o postradas. Artículos globosos, claviformes, cilíndricos o aplanados (cladodios), muy carnosos o leñosos. Limbo de las hojas pequeñas, cilíndrico, carnoso, muy pronto caduco. Aréolas axilares con espinas, pelos, glóquidas y a veces glándulas; generalmente las de la parte superior de los artículos son las productoras de flores, espinas solitarias o en grupos, desnudas o en vainas papiráceas. Flores generalmente hermafroditas, ovario ínfero con una cavidad y muchos óvulos. Estambres numerosos, más cortos que los pétalos, grueso: lóbulos del estigma cortos. Fruto en baya, seco o jugoso, espinoso o desnudo, globoso, ovoide hasta elíptico (SEMAR-NAT, 2007).



Figura 2. Género *Opuntia*

El género *Opuntia* se divide en dos subgéneros:

- *Cylindropuntia*. Sin tener mayor importancia económica. (Fig.3)
- *Platyopuntia*: Agrupa a las especies del género *Opuntia* que presenta tallo aplanado; penca, cladodios o raquetas. (Fig. 4)



Figura 3. *Cylindropuntia*



Figura 4. *Platyopuntia*

1.4.1. CARACTERÍSTICAS DEL *OPUNTIA FICUS INDICA*

Este es un vegetal arborescente de 3 a 5 metros de alto, su tronco es leñoso y mide de entre 20 a 50 cm de diámetro. Forma artículos oblongos (pencas o cladodios) de 30 a 60 cm de largo por 20 a 40 cm de ancho y de 2 a 3 cm de espesor. Sus ramas están formadas por pencas de color verde opaco con areolas que contienen espinas más o menos numerosas, amarillas y produce flores de 7 a 10 cm de largo. Su fruto es oval de 5 a 10 cm de largo por 4 a 8 cm de diámetro y su color puede ser amarillo, anaranjado, rojo o púrpúreo con abundante pulpa carnosa y dulce (Fig. 5). (Murray, 2000).



Figura 5. *Opuntia ficus indica*

1.5. MORFOLOGÍA GENERAL

Los nopales son plantas arbustivas, rastreras o erectas que pueden alcanzar 3.5 a 5 metros de altura (Aza et al, 2011). Todas las especies de nopal han desarrollado a través de la evolución características morfológicas adaptadas a la escasa disponibilidad de agua, a extremas temperaturas, en general, a las diversas condiciones de las zonas áridas y semiáridas del país. Algunas de estas características se relacionan con la eficiencia en la absorción y almacenamiento de agua (Vite et al, 1999).

Entre las adaptaciones que ha tenido tenemos:

1. La succulencia es la principal característica morfológica de los nopales y de la mayoría de las cactáceas. Resulta de la proliferación celular masiva de ciertos tejidos parenquimatosos, asociada a un aumento en el tamaño de las vacuolas y a una disminución de los espacios intercelulares. Este fenómeno permite a los órganos de estas plantas acumular grandes cantidades de agua en forma muy rápida durante los breves períodos de humedad y, por otra parte, las formas esféricas o succulentas representan los cuerpos más eficientes para evitar la evapotranspiración (Vite et al, 1999).
2. Elaboración de mucílagos y sustancias higroscópicas a partir de ácidos orgánicos.
3. La superficie foliar ha sido transformada en la penca adulta en espina y los cladodios al ser aplanados y discoides, en forma de raqueta, representan los cuerpos más eficientes para evitar la evaporación y transpiración.
4. La savia viscosa cierra rápidamente las heridas de la planta.
5. Metabolismo ácido crasuláceo (MAC), que es el proceso fotosintético en el cual las estomas están cerradas durante el día y abiertos durante la noche, evitando la pérdida de agua por transpiración (SEMARNAT, 2007).

1.5.1. RAÍZ

Estas derivan de la radícula, y ésta es por su duración perenne o permanente, extensa, superficial, y generalmente gruesas. Por su forma, estas son raíces típicas o pivotantes con ejes primarios que sirven para fijar a la planta. Generalmente son gruesas pero no suculentas; de tamaño y ancho variables; en general, su tamaño es proporcional al tamaño del tallo o de la parte aérea (Fig. 6). Las raicillas secundarias están provistas de pelos absorbentes, caducas, ya que su presencia se limita a la época de lluvias, por lo que su estructura y funcionamiento le permite captar con eficiencia la mayor cantidad de agua y de nutrientes durante los breves períodos de lluvias (Vite et al, 1999).



Figura 6. Raíz de la planta *Opuntia ficus indica*

1.5.2. TALLO

Este es craso, erecto (en algunas especies rastrero), ramificado y multi-articulado. Se compone de un tronco cilíndrico y de ramas aplanadas y discoides (cladodios o penca), posee cutícula gruesa y está adaptado para almacenar agua en sus tejidos.

Cada uno de sus artículos recibe el nombre particular de penca; su aspecto es comprimido, tiene forma de raqueta ovoide o alongada aplanados y botánicamente reciben el nombre de cladodios; estos son de color verde y tienen función fotosintética, ya que presentan abundante parénquima clorofílico. Los cladodios están recubiertos por una cutícula del tipo lipídica, interrumpida por la presencia de los estomas mismo que permanecen cerrados durante el día. La cutícula del cladodio evita la deshidratación provocada por las altas temperaturas del verano. La hidratación normal de cladodios alcanza hasta un 95% de agua en peso (Chaidez, 2010).

Los efectos de las intensas y prolongadas sequías, así como las abrasadoras ondas cálidas a que están expuestas las plantas, afectan el tamaño y forma de sus tallos (Vite et al, 1999).

El tallo en si está constituido por el nopalito (cladodio tierno) y la penca (cladodio adulto). Alcanzando hasta 60-70 cm de longitud cada rama, y en conjunto alcanzan 5m de altura y 4m de diámetro, dependiendo del agua y de los nutrientes disponibles (Fig. 7) (Ochoa, 2003).



Figura 7. Tallo de la planta *Opuntia ficus indica*

1.5.3. HOJA

En el nopal solamente existe en los renuevos de pencas (cladodios) cuando están tiernas. Estas son hojitas cilíndricas y caducas en forma de cuernitos; herbáceas, en cuyas axilas se hallan las areolas de las cuales brotan las espinas de aproximadamente 4 a 5 mm de longitud (Fig. 8). Las hojas desaparecen completamente al alcanzar la penca cierto grado de desarrollo, es decir en unos cuantos días, en cuyo lugar quedan las espinas (Vite et al, 1999).



Figura 8. Hoja de la planta *Opuntia ficus indica*

1.5.4. FLOR

La flor de la planta son diurnas, solitarias, sentadas, nacen en la base de los árboles que funcionan indistintamente como yemas florales o vegetativas, y localizadas en la parte superior de las pencas. Cada areola produce por lo general una flor, aunque no en una misma época de floración, algunas pueden brotar al primer año y en otras al segundo o al tercero.

Sus pétalos poseen colores vivos: amarillo, anaranjado, rojo, rosa, salmón, etc., según la especie de nopal (Fig. 9). Sépalos numerosos de color amarillo claro a rojizo o blanco. Por lo general, las flores son grandes; el ovario es inferior, unilocular, con muchos óvulos y lóbulos del estigma (cinco a diez); el androceo posee gran cantidad de estambres. Estas son hermafroditas anatómicas; algunas, sin embargo, son unisexuales por atrofia del androceo o del gineceo respectivamente (*Opuntia robusta*). La floración tiene lugar en primavera, durante los meses de marzo, abril y mayo, aunque hay entidades en las que se realiza en otras épocas del año. Una vez efectuada la fecundación, el perianto se marchita y cae, pero a veces permanece adherido al fruto por algún tiempo (Vite et al, 1999).

La apertura de la flor tarda en promedio 55 días después de la aparición de las yemas florales. La flor permanece abierta durante 24 horas; se considera que el momento de anthesis, es decir, el punto exacto a partir del cual se empieza a contar la vida del fruto, es a los dos días, después de la apertura de la flor (SEMERNAT, 2007).



Figura 9. Flor de la planta *Opuntia ficus indica*

1.5.5. FRUTO

El fruto del nopal (tuna) es una baya unilocular polispermo, carnosa, de forma ovoide a esféricas; sus dimensiones y coloraciones pueden variar según la especie; presentan espinas finas y frágiles de 2 a 3 mm de longitud. Son comestibles, agradables y dulces (Rodríguez, 2009), y encontrándose frutos de 4 a 12 cm o más de longitud, de color amarillo canario, amarillo limón, anaranjado, rojo, guinda, rojo-morado, verde tierno, blanco verdoso, etc. (Fig. 10). Semillas lenticulares con testa clara y arillo ancho, embrión curvo, cotiledones grandes y polispermo bien desarrollado (Vite et al, 1999).



Figura 10. Fruto de la planta *Opuntia ficus indica*

1.6. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL NOPAL

De acuerdo a los resultados expresados por Granados y Castañeda (2000) se ha encontrado que el nopal contiene un 91% de agua, seguido de los carbohidratos con un 4.45%, fibra con un 2.2% después cenizas con un 1.58%. También podemos observar que lo que menos contiene es grasa con un 0.11% y después proteína con un 0.66%; tal como se puede observar en la tabla 3.

Tabla 3. Composición química en 100 g de nopal fresco

Determinación	Peso (g)
Agua	91.00 g
Cenizas	1.58 g
Proteína	0.66 g
Grasa	0.11 g
Carbohidratos	4.45 g
Fibra cruda	2.2 g

1.6.1. AGUA

En cactáceas, tales como el nopal, alcanza valores mayores al 90% en tallos, pencas y frutos; y aporta el sabor de succulencia. El contenido de las células vegetales es un medio rico en agua; el porcentaje de ésta, por otra parte, es diferente según las funciones fisiológicas y edad de los tejidos, máxime durante el período del crecimiento, pudiendo alcanzar, por lo tanto, en los órganos jóvenes del 90 al 95% (Vite et al, 1999).

1.6.2. MINERALES Y VITAMINAS

Estos son muy variables, debido a la variación climática y composición química del suelo. Los principales componentes minerales del nopal son el calcio y el potasio, pre-

sentándose también, fósforo, sodio y en pequeñas cantidades hierro y zinc (Reza et al, 2005). El nopal es también una fuente buena de vitaminas A, B1, B2, B3, vitamina C, como se puede observar en la tabla 4. (SEMARNAT, 2007).

Tabla 4. Minerales y vitaminas en 100 g de nopal fresco

Componentes	Peso (mg)
Calcio	97.87
Potasio	94.88
Fosforo	9.37
Sodio	4.81
Hierro	0.34
Zinc	0.25
Vitamina A	0.37
Vitamina B1	0.03
Vitamina B2	0.06
Vitamina B3	0.03
Vitamina C	8.00

(FAO, 2003)

1.6.3. CARBOHIDRATOS

Estos son los constituyentes más abundantes de las sustancias orgánicas, representantes de una forma de almacenaje de energía capturada a partir de la luz por el proceso de la fotosíntesis y base fundamental en el suministro de la mayor parte de esqueletos carbonados y de la mayoría de los compuestos orgánicos que constituyen la planta. La celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina forman parte de los polisacáridos y se denominan carbohidratos no disponibles, debido a que los humanos no los pueden digerir. Las pectinas se encuentran en los tejidos vegetales y en la savia. Las pectinas y las gomas se utilizan en la industria alimenticia. El tracto alimentario humano no puede dividir estos carbohidratos o utilizarlos para producir energía. En los seres humanos, cualquiera de los carbohidratos no disponibles pasa a través del tracto intestinal lo que ayuda a la digestión. Forman gran parte del volumen y desecho alimentario que se elimina en las heces, y con frecuencia se denominan fibra dietética. El nopal contiene gran cantidad de fibra insoluble y soluble; Sánchez (2006) expresa que el contenido de fibra soluble es de 5.3 a 14.2%, como se puede ver en la tabla 5 (Vite et al, 1999). Hoy en día hay un interés creciente en la fibra alimentaria, debido a que las dietas altas en fibra se consideran saludables.

Tabla 5. Fibra soluble e insoluble en nopal fresco

Determinación	(%)
Fibra soluble (pectina)	
• Pectina	5.3 -14.2%
• Mucilago	3.8 – 8.6%
Fibra insoluble:	
• Hemicelulosa	5.2 - 13.8%
• Celulosa	3.5 - 13.2%

(Sánchez, 2006)

1.6.4. COMPONENTES NITROGENADOS

La importancia de los compuestos del nitrógeno se debe a las reacciones bioquímicas que integran la vida; este elemento se encuentra en las proteínas, los ácidos nucleicos, algunos de los reguladores del crecimiento de las plantas y en muchas de las vitaminas (Vite et al, 1999).

En la tabla 6 se observa el contenido de los diferentes aminoácidos esenciales que contiene el nopal, destacando la fenilalanina, leucina, treonina, siguiendo la lisina, isoleucina, valina, triptófano y arginina; en menor cantidad se encuentra histidina y metionina.

Tabla 6. Contenido de aminoácidos esenciales en 100 g nopal fresco

Aminoácidos	Contenido (g / 100 g de nopal)
Fenilalanina	0.054
Treonina	0.052
Leucina	0.052
Lisina	0.043
Isoleucina	0.040
Valina	0.038
Triptófano	0.038
Arginina	0.031
Histidina	0.016
Metionina	0.008

(Granados y Castañeda, 2000)

1.6.5. LÍPIDOS

El nopal tienen un contenido de lípidos bajo. Posee proporciones variables de triglicéridos, ceras, resinas, látex, flavonoides, taninos, pigmentos clorofiloides y carotenoides. (Aguilar, 2007).

1.6.6. VALOR NUTRITIVO DEL NOPAL

El nopal constituye en sí un alimento completo con un importante valor nutricional. El nopal en base húmeda aporta 31 Kcal, y en base seca aporta 248.24 Kcal. La penca de nopal es una fuente rica de fibra insoluble y soluble. En la tabla 7, se muestra el análisis químico proximal del nopal en base seca, donde podemos observar que los componentes están más concentrados como es el caso de carbohidratos con un 50.06%, seguido de minerales 24.07% y después la fibra con un 10.67%.

Tabla 7. Análisis químico proximal en 100 g de nopal en base seca

COMPONENTES	Base Seca (%)
Energía (K cal)	248.24
Humedad	5.63
Cenizas	24.07
Extracto etéreo	2.04
Fibra cruda	10.67
Proteínas	7.53
Carbohidratos	50.06

(Chaidez, 2010)

2. ALIMENTO FUNCIONAL

Los alimentos funcionales se definen como aquellos que están demostrados suficientemente que actúan beneficiosamente sobre una o más funciones del cuerpo, más allá de sus efectos nutricionales, mejorando la salud y el bienestar y/o reduciendo el riesgo de enfermedad, por la adición de un ingrediente funcional, por la modificación de un proceso o por el uso de la biotecnología como es el caso del nopal (Ferrer y Dalmaus, 2001).

2.1. CLASIFICACIÓN DE ALIMENTOS FUNCIONALES

Los alimentos funcionales se clasifican en:

1. **Probióticos:** Suplemento alimentario microbiano vivo que beneficia al huésped animal con una mejoría del equilibrio microbiano intestinal. Pueden no ser solo organismos vivos, sino que pueden incluir partículas o porciones de microbios inactivos que tengan un efecto positivo.
2. **Prebiótico:** Sustancia que cuando son ingeridas promueven el crecimiento y establecimiento de los microorganismos beneficiosos. Se dice que el prebiótico es el alimento del probiótico.

3. **Simbiótico o Eubiótico:** Es la suma de los probióticos y los prebióticos (Meléndez y Núñez, 2009).

2.2. PROPIEDADES FUNCIONALES DE LOS CLADODIOS

Los compuestos funcionales son aquellos que tienen efectos benéficos para la salud y tanto los frutos como los cladodios de la tuna son una fuente interesante de tales componentes; entre los que destacan la fibra, los hidrocoloides (mucílagos), los pigmentos (betalaínas y carotenoides), los minerales (calcio, potasio), y algunas vitaminas como la vitamina C, importante por sus propiedades antioxidantes. Todos estos compuestos son muy apreciados desde el punto de vista de una dieta saludable y también como ingredientes para el diseño de nuevos alimentos (Sáenz et al, 2004).

Entre estos compuestos funcionales, la fibra dietética es uno de los componentes más estudiados desde el punto de vista de la nutrición y la relación que existe entre fibra y salud, por ejemplo para el control del colesterol y prevención de algunas enfermedades como diabetes y obesidad (Arroyo, 2008).

La presencia de polifenoles, aunque son antioxidantes, causan oscurecimiento, lo que genera problemas en algunos procesos de conservación del nopal (Rodríguez, 2002).

2.3. PROPIEDADES FUNCIONALES Y MEDICINALES DEL NOPAL

Se ha demostrado que el nopal aparte de sus cualidades nutricionales, posee propiedades medicinales que ayudan a controlar diferentes desordenes del cuerpo tales como:

PROPIEDADES CURATIVAS

El nopal (*Opuntia-Indica*) ha sido ampliamente recomendado para una mejor circulación de la sangre, enfermedades del corazón y desordenes digestivos (Órnelas, 2011).

OBESIDAD

El nopal contiene 17 aminoácidos de los cuales 8 son esenciales que deberían ser ingeridos en los alimentos, estos proveen de mayor energía y ayudan al cuerpo a bajar el nivel de azúcar en la sangre, disminuyéndose la fatiga y el apetito, a la vez que provee de nutrientes.

Las fibras insolubles que contiene, crean una sensación de saciedad y ayudan a una buena digestión. Así mismo, las proteínas vegetales promueven la movilización de líquidos en el torrente sanguíneo disminuyéndose la celulitis y la retención de fluidos (Murray, 2000).

HIPERGLUCEMIA

El nopal incrementa los niveles y la sensibilidad a la insulina logrando con esto estabilizar y regular el nivel de azúcar en la sangre. Los estudios de investigación han demostrado los efectos hipoglicémicos hasta un máximo de 4 a 6 horas después de la ingesta de nopal en diabéticos de tipo II y no diabéticos (Ávila et al, 2010).

HIPERLIPIDEMIA

Los aminoácidos, la fibra y la niacina contenida en el nopal previenen que el exceso de azúcar en la sangre se convierta en grasa, mientras que por otro lado, actúa metabolizando las grasas y los ácidos grasos reduciendo así el colesterol total, los triglicéridos y los niveles de colesterol LDL; así mismo, elimina ácidos de bilis excesiva (el ácido de bilis excesivo es convertido en colesterol al final).

Otros estudios de investigación sobre la vitamina B₃ (niacina) indican una conversión del colesterol LDL (malo) a las formas HDL (bueno) y ayuda a reducir el riesgo de enfermedades cardíacas (Calvo et al, 2011).

ÚLCERAS GÁSTRICAS

Las fibras vegetales y los mucílagos controlan la producción en exceso de ácidos gástricos y protege la mucosa gastrointestinal. El pH del nopal crea una capa protectora que ayuda a la prevención de daños y perjuicios que pudieran ocurrir al ingerir comidas muy condimentadas, y aspirinas, entre otros medicamentos (González, 2012).

ARTERIOSCLEROSIS

Las arterias bloqueadas son prevenidas. El efecto de los aminoácidos, a fibra, y las vitaminas (C y A) previene la posibilidad de daños en las paredes de los vasos sanguíneos, así como también la formación de plaquetas de grasa (Murray, 2000).

SISTEMA NERVIOSO, HEPÁTICO Y URINARIO

El nopal previene daños en los nervios y ayuda a alcanzar mejores balances en el estado de ánimo. El amoníaco, radicales libres y toxinas ambientales como alcohol y el humo del cigarro inhiben el sistema inmunológico del cuerpo, siendo removidos por el nopal, mismo que incluso ayuda en el balance y calma del sistema nervioso (Murray, 2000).

El nopal contiene vitaminas A, B₁, B₂, B₃, C; minerales, calcio, magnesio, sodio, potasio, y hierro; y fibras como lignina, celulosa, hemicelulosa, pectina, y mucílagos; así como gomas; que en conjunto con los aminoácidos ayudan a eliminar toxinas; para el apoyo, no solamente del hígado, sino también del cuerpo en general (González, 2012).

El jugo del nopal se usa como diurético, antiinflamatorio y para reducir dolores del sistema urinario (González, 2012).

LIMPIEZA DEL COLON

El nopal contiene fibras dietéticas solubles e insolubles.

Las fibras dietéticas insolubles, conocidas como pajas, forraje etc., absorben agua y aceleran el paso de los alimentos por el tracto digestivo y contribuye a regular el movimiento intestinal, además, la presencia de las fibras insolubles en el colon ayudan a diluir la concentración de cancerígenos que pudieran estar presentes, y evita las hemorroides.

Las fibras solubles también contribuyen a la regularidad. Además el nopal es una alternativa posibles para aquellas personas que presentan sensibilidad o alergia al *Psyllium* (González, 2012).

OSTEOPOROSIS

El consumo cotidiano de nopal nos ayuda a prevenir enfermedades como son la osteoporosis o el debilitamiento de huesos y dientes, ya que es rico en calcio.

Los requerimientos diarios de calcio se estiman adecuados entre 1,000 y 1,200 mg (Quezada y Sosa, 2011); y el nopal por cada 100 g aporta 93 mg de calcio (FAO, 2003).

El consumo del nopal puede ser fresco, deshidratado, en polvo, cápsulas, tabletas o té. Parte de esas propiedades medicinales se deben al mucílago, pectina o "baba", que es un polisacárido complejo compuesto por arabinosa y xilosa (Aza et al, 2011).

2.4. USOS DEL NOPAL

AGROINDUSTRIA PARA CONSUMO HUMANO

El nopal tiene una gran aceptación por su bajo costo.

Las pencas tiernas del nopal se preparan en escabeche, salmuera y encurtidos; se cocinan caldos, cremas, sopas, ensaladas, guisados, o en empanadas, huevos, platos fuertes, salsas, "antojitos", bebidas no alcohólicas, bebidas alcohólicas y postres (Aza et al, 2011).

El nopal verdura es destinado principalmente al consumo humano, ya sea en fresco, como ensaladas, o en la preparación de diferentes platillos (SEMARNAT, 2007).

AGROINDUSTRIA DE ALIMENTOS PARA ANIMALES

En México el uso más importante ha sido como forraje, ya que en las épocas de sequía es el alimento principal del ganado. Existen suplementos y piensos de cladodios y de desechos de la industria procesadora de tuna, como la cáscara y semillas (Órnelas, 2011)

INDUSTRIAS DE SUPLEMENTO ALIMENTICIO

Los cladodios son una fuente importante de fibra, la que se obtiene al secarlos y molerlos para obtener polvo. Este polvo o harina se destina a las industrias de alimentos, para darle uso como complementos alimenticios (Valdez et al, 2008).

INDUSTRIA FARMACÉUTICA

El polvo o harina de nopal se usa en el área farmacéutica como protectores gástricos de extractos de mucílagos; las cápsulas y tabletas de polvo de nopal se ofrecen como un modo de controlar la obesidad y diabetes (Valdez et al, 2008).

INDUSTRIA COSMÉTICA

Existen diversos productos a base de nopal: shampoo, enjuagues capilares, crema para manos y cuerpo, jabón, acondicionador, mascarilla humectante, crema de noche, gel para el cabello, gel reductor, gel para la ducha, loción astringente, mascarilla estimulante y limpiadora, jabones y pomadas (Ventrera et al, 2005).

INDUSTRIA PRODUCTORA DE ADITIVOS NATURALES

Se usan gomas de cladodios, colorantes de la fruta, espesantes, emulsificantes, y gelificantes (Valdez et al, 2008).

INDUSTRIA TEXTIL

Uso de colorantes naturales como el carmín de cochinilla. Esta tinta no se toma directamente del nopal si no de la escama que habita en él, que luego de machacarlo el sobrante se usa como tinte (Vite et al, 1999).

CERCO

La utilización de espinas para formar cercos en los huertos familiares y en los predios ganaderos (Flores et al, 1995).

ANTI-CONTAMINACIÓN

El nopal, como planta de tipo MAC (metabolismo ácido crasuláceo), consume CO₂ por la noche en grandes cantidades, por lo que es recomendable su uso masivo en los

camellones de las ciudades con problemas de contaminación y aún como plantas de ornato en el interior de las casas habitación (SEMARNAT 2007).

CONSERVACIÓN DEL SUELO (INSUMOS PARA LA AGRICULTURA)

El nopal se utiliza para proteger el suelo y frenar la desertificación, y es una planta que puede formar “setos” en curvas de nivel que ayudan a controlar la erosión del suelo, además de que soporta los ambientes desfavorables del desierto, caracterizados por una precipitación pobre, errática y alta oscilación térmica diaria y anual (Flores et al, 1995).

SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

Compuestos ligantes a partir los cladodios (Valdez et al, 2008). Tienen usos en materiales plásticos, elásticos y flexibles con características similares al caucho (Cazorla, 2011).

SECTOR ENERGÉTICO

Producción de biogás y a partir de las pencas y fruto del nopal (Valdez et al, 2008)

SECTOR TURÍSTICO

Artesanías en base a cladodios lignificados.

La lignificación es la alteración de las células vegetales por almacenamiento de lignina en las membranas celulares. La lignificación fortalece la resistencia mecánica a la presión con una cierta pérdida de elasticidad; y en la madera se utiliza como protección frente a los microorganismos.

Mediante cocción con hidrosulfito de calcio pueden extraerse de nuevo las ligninas, y quedando como resto la estructura celulósica (Valdez et al, 2008).

3. FIBRA

La fibra es la parte comestible de la planta que resiste la digestión y absorción en el intestino delgado humano y que experimenta una fermentación parcial o total en el intestino grueso.

Esta parte vegetal está formada por un conjunto de compuestos químicos de naturaleza heterogénea (polisacáridos, oligosacáridos, lignina, etc.). Desde el punto de vista nutricional, y en sentido estricto, la fibra alimentaria no es un nutriente, ya que no participa directamente en procesos metabólicos básicos del organismo. No obstante, la fibra alimentaria desempeña funciones fisiológicas sumamente importantes como estimular la perístasis intestinal.

La razón por la que el organismo humano no puede procesarla se debe a que el aparato digestivo no dispone de las enzimas que pueden hidrolizarla. Por otro lado, las enzimas de la flora bacteriana fermentan parcialmente la fibra y la descomponen en diversos compuestos químicos: gases (hidrógeno, dióxido de carbono y metano) y ácidos grasos de cadena corta (acetato, propionato y butirato). Éstos últimos pueden ejercer una función importante en el organismo de los seres vivos.

La fibra dietética se encuentra únicamente en alimentos de origen vegetal, y que sean poco procesados tecnológicamente, como cereales, frutas, verduras y legumbres (Murray, 2000).

3.1. CLASIFICACIÓN DE LA FIBRA

Existen dos tipos de fibra: soluble e insoluble.

3.1.1. FIBRA INSOLUBLE

Celulosa, hemicelulosa y lignina.

Los componentes de este tipo de fibra son poco fermentables y resisten la acción de los microorganismos del intestino. Su principal efecto en el organismo es el de limpiar, como un cepillo natural, las paredes del intestino desprendiendo los desechos adheridos a ésta; además de aumentar el volumen de las heces y disminuir su consistencia y su tiempo de tránsito a través del tubo digestivo; y como consecuencia, este tipo de fibra, al ingerirse diariamente, facilita las deposiciones y previene el estreñimiento (Murray, 2000).

3.1.2. FIBRA SOLUBLE

Inulina, pectinas, gomas y fructo-oligosacáridos.

Estos captan mucha agua y son capaces de formar geles viscosos. Esta es fermentable por los microorganismos intestinales, por lo que produce gran cantidad de gas en el intestino.

Al ser fermentable favorece la creación de flora bacteriana que compone $\frac{1}{3}$ del volumen fecal, por lo que este tipo de fibra también aumenta el volumen de las heces y disminuye su consistencia. La fibra soluble, además de captar agua, es capaz de disminuir la absorción de grasas y azúcares de los alimentos (índice glicémico), lo que contribuye a regular los niveles de colesterol y de glucosa en sangre (Murray, 2000).

3.1.3. PECTINA

Las pectinas constituyen un grupo importante de sustancias de interés en alimentos (Bedolla et al, 2008).

La pectina es un polisacárido natural, y uno de los constituyentes mayoritarios de las paredes de las células vegetales y se obtiene a partir de los restos de la industria de fabricación de zumos de naranjas, limón y sidra. Esta es más barata que otros gelificantes, a excepción del almidón, y forma geles en medios ácidos en presencia de cantidades grandes de azúcar (Aza et al, 2011).

La pectina es muy importante desde el punto de vista fisiológico, su alto contenido de fibra ayuda a proteger la mucosa gástrica, ayuda a eliminar toxinas del cuerpo, a la limpieza del colon.

Las pectinas se encuentran en la parte intermedia del albedo y en las capas entre cada una de las paredes celulósicas, que se componen casi por completo de sustancias pécticas.

Las sustancias pécticas encontradas en los tejidos de las plantas son compuestos derivados de los carbohidratos de naturaleza coloidal, ya que contienen como unidad básica el ácido galacturónico, el cual al unirse por enlaces glucosídicos α (1-4), con otras moléculas similares forman una cadena de ácido poli-galacturónico. Los grupos carboxilos de esta sustancia pueden estar parcialmente o completamente neutralizados por una o más bases, esterificados con metilos o en forma de sal (Ferreira, 1990).

Se pueden distinguir dos tipos de sustancias pécticas: los ácidos pectínicos, que tienen parte de sus ácidos galacturónicos como ésteres metílicos; y los ácidos pécticos, que solo contienen moléculas del ácido sin esterificar. Por definición, las pectinas son ácidos pectínicos con diferentes grados de esterificación (Badui, 1999).

Cabe destacar que las pectinas se usan principalmente por su capacidad de gelificación en la elaboración de productos alimenticios (Badui, 1999).

3.2. ORIGEN

La palabra pectina se deriva del griego "*pektos*" que significa solidificar. Descubierta por Vauguelin (1790) y caracterizada en 1825 por Bracounot, quien descubrió que en esta sustancia está el principal agente gelificante en las frutas y la llamo pectina, además descubrió que era la responsable de la formación de jaleas cuando se calentaba a ebullición la fruta con azúcar (Askel, 1987).

La Sociedad Química Americana decidió en 1927 estandarizar una nomenclatura para nombrar estas sustancias y en 1944 esta fue aceptada. El concepto "pectina" se definió como aquellos ácidos pécticos capaces de formar un gel estándar cuando se combinan en proporciones adecuadas con la fruta, azúcar, agua, o ácidos (Ferreira, 1990).

3.3. LOCALIZACIÓN Y ESTRUCTURA DE LA PECTINA

La pectina se obtiene de materias primas vegetales, principalmente frutas y vegetales, y se usa en varias industrias, especialmente la de alimentos, para darle propiedades de gel a los productos y como agente estabilizante.

Según el tratamiento que se haga a las materias primas se obtienen diferentes calidades de pectina de acuerdo con las necesidades que se requieran para los productos terminados (Devia, 2003).

El contenido en pectinas de los tejidos vegetales varía según el origen botánico y anatómico de la planta. En la figura 11, observamos la estructura de la pectina.

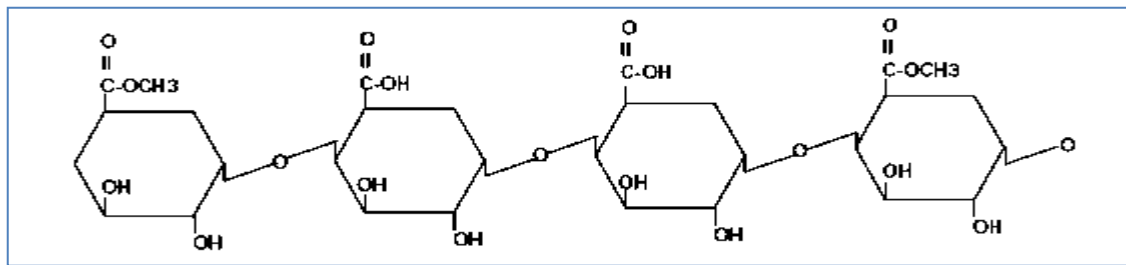


Figura 11. Estructura química de la pectina (Calvo, 1991).

3.4. CARACTERÍSTICAS SENSORIALES

La pectina debe tener un color blanco amarillento y sin olor, además de presentar una textura de aspecto viscoso o mucilaginoso, así mismo su tamaño de partículas deberá estar comprendido entre la malla de 60 y 80 (Badui, 1999).

3.5. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

3.5.1. TEMPERATURA

Este es uno de los factores más importantes y críticos en la extracción de pectina, cualquier sistema que contenga pectina, tiene un límite superior de temperaturas por encima de la cual la gelificación nunca ocurrirá (Camacho et al, 2002).

3.5.2. PESO MOLECULAR DE LA PECTINA

Este está relacionado con la longitud de la cadena, es una característica muy importante de la que dependen la viscosidad de sus disoluciones y su comportamiento en la gelificación de las jaleas. La determinación cuidadosa del peso molecular es difícil, parcialmente debido a la extrema heterogeneidad de las muestras y parcialmente debido a la tendencia de las pectinas a agregarse (Aza et al, 2011).

3.5.3. pH

La pectina tiene un pH ácido, aproximadamente 3.5.

Un porcentaje alto de grupos ácido disociados respecto a no disociados hace la pectina más hidrofílica. Por lo tanto, la tendencia a gelificar aumenta considerablemente al bajar el pH. Esto se hace especialmente evidente en pectinas de alto metoxilo las cuales requieren normalmente un pH por debajo de 3.5 para gelificar (Aza et al, 2011).

3.5.4. PRECIPITACIÓN

Las pectinas, después de haber sido sometidos a una ebullición prolongada en agua pura o ligeramente acidulada, es fácilmente precipitada por adición de alcohol o acetona, que actúan como agentes deshidratantes, en forma de una suspensión gelatinosa, que volverá a ser soluble en agua.

Cuando la precipitación se logra por adición de alcohol o acetona en más de un 60% la pectina precipita en forma de hilos, fibras y masas esponjosas (Aza et al, 2011).

3.5.5. SOLUBILIDAD

Una vez lograda la precipitación de la pectina, ésta puede ser secada y convertida en polvo siendo el tamaño de la partícula un factor importante.

La solubilidad de la pectina será rápida cuando muestre un alto grado de dispersión, de lo contrario, al adicionarle agua tenderá a formar grumos viscosos por fuera y secos por dentro; por esta razón es recomendable que la pectina se mezcle siempre antes con un poco de azúcar, sales amortiguadoras, o también humedecer con etanol antes de añadir agua (Braverman, 1980).

3.6. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Químicamente, la pectina consiste en cadenas largas y no ramificadas de ácido galacturónico, y con los grupos carboxilos parcialmente esterificados con alcohol metílico. El principal constituyente de los polisacáridos pécticos es el ácido galacturónico unido en cadenas por medio de enlaces glucosídicos α (1-4). El principal componente de la pectina es el ácido galacturónico parcialmente metilado. Algunos azúcares neutrales se

encuentran también presentes en la molécula. El porcentaje de unidades de ácido galacturónico que están esterificados con etanol dan el grado de esterificación, lo cual influye en las propiedades gelificantes de la pectina (Aza et al, 2011).

3.6.1. GRADO DE ESTERIFICACIÓN

Se define como el porcentaje de grupos carboxil urónidos que se esterifican con etanol. La determinación de este porcentaje requiere la medida del contenido de metoxil éster y del ácido anhidro urónico.

Permite determinar la capacidad de gelificación de la pectina, y hay una amplia gama de grados de esterificación dependiendo de especies, tejido y madurez. En general las pectinas del tejido tienen una gama de grados de esterificación que van del 60 al 90% (Camacho y Cortés, 2002)

3.6.2. GRADO DE METOXILACIÓN

Como parte de la estructura de la pectina se encuentran los grupos carboxilos, los cuales son esterificados por radicales metilo, y a éstos se los conoce como metilación de una pectina (Braverman, 1980).

3.6.3. ENLACES DE CALCIO

La habilidad del calcio para formar complejos con pectina está asociada con los carboxilos libres de las cadenas de pectina. Para la coagulación inducida por el calcio ha sido propuesta una llamada estructura de "cáscara de huevo" en la que los iones calcio interaccionan iónicamente y están coordinados con funciones oxigenadas de dos cadenas adyacentes, originando un cruzamiento de cadenas (Camacho y Cortés, 2002).

3.7. CLASIFICACIÓN DE LAS PECTINAS

Las pectinas se clasifican en base a su "poder gelificante", o por su grado de metoxilación, en pectinas de alto metoxilo y en pectinas de bajo metoxilo (Braverman, 1980).

1. Pectinas de alto metoxilo donde GE "grado de esterificación" es mayor al 50%.
2. Pectinas de bajo metoxilo donde GE "grado de esterificación" es menor al 50%.

3.7.1. PECTINA DE ALTO METOXILO

Pueden encontrarse en el mercado en tres tipos diferentes dependiendo de su gelificación (ver tabla 8):

A. PECTINA DE GELIFICACIÓN LENTA

Ésta tiene un grado de metilación entre el 50-70%, y forma geles con azúcar y ácido a pH óptimo entre 2.8 a 3.2; y su gelificación puede empezar a temperaturas menores a 85°C (Aza et al, 2011).

B. PECTINA DE GELIFICACIÓN MEDIA

Valor relativamente alto de pH: 3.0-3.5y para 65% de sólidos solubles (Aza et al, 2011).

C. PECTINA DE GELIFICACIÓN RÁPIDA

Ésta tienen un grado de metoxilación de por lo menos 70%, y forma geles con adición de azúcar y ácidos a pH de 3.0-3.4; y a temperaturas superiores a los 85°C. Esta pectina produce el espesamiento o gelificación al poco tiempo de ser agregada (Aza et al, 2011).

Tabla 8. Tipos de pectina

Gelificación de la pectina	% de Esterificación
Lenta	60-67
Mediana	68-70
Rápida	71-76

(Aza et al, 2011)

3.7.2. PECTINA DE BAJO METOXILO

Al contrario de las pectinas de alto metoxilo, las pectinas de bajo metoxilo (LM) forman geles termorreversibles por interacción con el calcio presente en el medio; el pH y la concentración de sólidos son factores secundarios que influyen en la velocidad y la temperatura de gelificación y además en la textura final del gel.

Estas pectinas tienen la propiedad de formar gel cuyo soporte está constituido por una estructura reticular de pectinatos de calcio, y su contenido de sólidos solubles puede bajar hasta 2%, y el valor de pH acercarse a la neutralidad. Para la gelificación la sola presencia de la pectina y de las sales de calcio es necesaria y suficiente (Camacho y Cortés, 2002).

3.8. USOS Y APLICACIONES DE LA PECTINA

3.8.1. MEDICINA

La pectina es un hidrato de carbono que no se absorbe en el intestino, y que forma parte de lo que llamamos fibra soluble. La pectina tiene la particularidad de retener agua, y se le atribuyen efectos benéficos en caso de diarrea ya que hace más lento el tránsito intestinal.

La ingestión de pectinas tiene varias ventajas claras. Se ha comprobado que, en primer lugar, hacen que la captación por el aparato digestivo de la glucosa procedente de la dieta sea más lenta, y con lo que el ascenso de su concentración sanguínea es menos acusado después de una comida. Esto es claramente favorable para los diabéticos, especialmente para aquellos que no son dependientes de la insulina (Badui, 1999).

La ingestión de pectinas reduce por otra parte la concentración de colesterol en la sangre, especialmente del ligado a las lipoproteínas de baja y muy baja densidad. Esta fracción del colesterol es precisamente la que está implicada en el desarrollo de la arteriosclerosis, por lo que la ingestión de pectinas puede actuar también como un factor de prevención de esta enfermedad. El mecanismo exacto de este fenómeno no se conoce con precisión, pero parece estar ligado a que las pectinas promueven una mayor eliminación fecal de esteroides (Badui, 1999).

3.8.2. INDUSTRIA ALIMENTARIA

Las pectinas de alto metoxilo son las más usadas para la elaboración de geles. Estas pueden prepararse en glaseados para pastelería y flanes, mediante una formulación con pectina de bajo metoxilo (Multon, 1988).

La pectina también tiene usos en las industrias lácteas. La pectina de alto metoxilo preserva a los productos lácteos de la agregación de caseína cuando se calientan a valores de pH inferiores a 4.3. Este efecto se usa para estabilizar los yogurts bebidos y los lácteos tratados con UHT, y también para mezclas de leche y zumos de fruta. También estabiliza bebidas lácteas acidificadas con soja y productos basados en el trigo, donde evita la precipitación de proteínas. El yogurt puede espesarse mediante la adición de niveles muy bajos de pectina de bajo metoxilo amidada (Multon, 1988).

Las pectinas mejoran la textura de las bebidas bajas en calorías y así reemplazar la pulpa del fruto en este tipo de bebidas (Multon, 1988). En los sorbetes y helados la pectina puede usarse para controlar el tamaño del cristal. En los copos retiene los aromas y colores, que normalmente tienden a salir de la estructura del hielo.

La gelatina ha sido la base tradicional para los postres de geles (Multon, 1988).

3.8.3. INDUSTRIA FARMACÉUTICA

Tiene propiedades hidrocoloidales y terapéuticas. Además, frecuentemente produce un efecto de sinergia y aumenta la acción de otros principios activos de la especialidad (Askel, 1987).

El consumo de pectina por individuos normales y diabéticos produce disminución de la curva de respuesta de glucosa después de las comidas. La curva de respuesta de insulina también decrece de manera similar en respuesta a la pectina, y en aproximadamente dos tercios en los estudios en que se midió la insulina (Askel, 1987).

La hipoglucemia y el síndrome de reflujo gástrico disminuyeron y mejoraron respectivamente cuando era consumida pectina con la comida (Askel, 1987).

La interacción de pectina en vitaminas ha sido estudiada muy poco en personas y animales. El consumo de vitamina C con pectina puede ser beneficioso a las personas con hipocolesterolemia. La absorción de vitamina B₁₂ parece reducirse con pectina, mientras que otras vitaminas estudiadas no muestran reducción en su biodisponibilidad (Gilksman, 1996).

Otras aplicaciones son:

- Uso en odontología
 - Productos cosméticos
 - Manufactura de cigarrillos
 - Medios de cultivo en microbiología
 - Conservación del suelo
 - Alimentación animal
- (Badui, 1999).

La pectina es un material versátil y sin peligro para la salud, que se deriva de fuentes naturales, y puede ciertamente pretender ser un aditivo alimentario con una imagen muy saludable, que contrasta con implicaciones en los riesgos de la salud de muchos aditivos no naturales (Badui, 1999).

3.9. APROVECHAMIENTO DE LA PECTINA DE NOPAL

Las pectinas son utilizadas ampliamente en la industria de alimentos como agentes hidrocoloides (gomas) tipo gelificantes. Dependiendo del origen botánico y el proceso de extracción los grupos carboxílicos están parcialmente esterificados con metanol y en ciertas pectinas los grupos hidroxilo están parcialmente acetilados.

Actualmente, la industria de extracción de pectina en México está soportada en los desechos de cítricos, no obstante, de cara al futuro, nuevas fuentes de pectina pueden ser muy atractivas desde el punto de vista económico. En este sentido, el nopal es una planta nativa de amplia distribución en zonas áridas y semiáridas de México y el mundo. Las pencas de nopal excretan un mucílago con capacidad de gelificación que ha sido descrito como una pectina, el cual cuenta con excelentes propiedades de gelificantes (Untiveros, 2003).

3.10. EXTRACCIÓN DE PECTINA

A continuación se presenta la metodología para la extracción de la pectina propuesta por Arizmendi (2004) (Fig. 12).

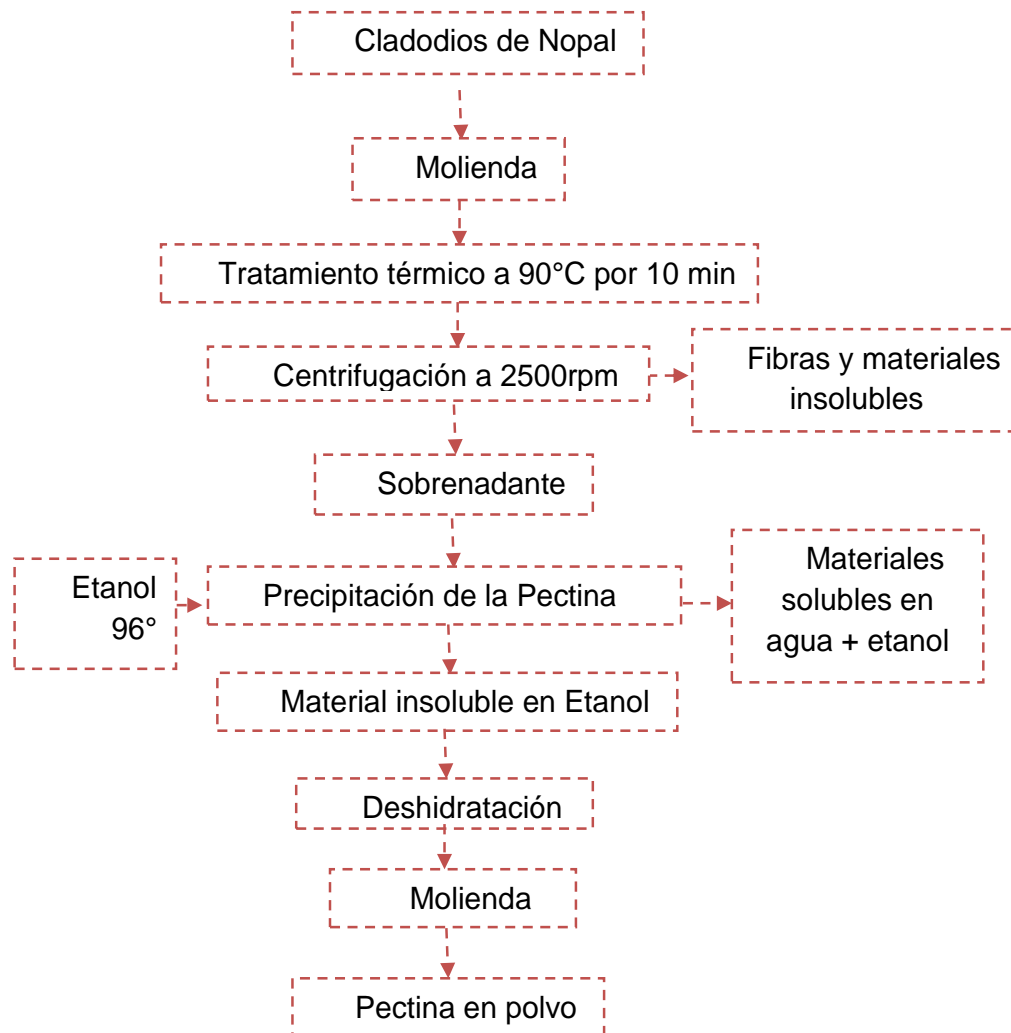


Figura 12. Proceso de extracción de la pectina (Arizmendi, 2004).

3.10.1.HIDRÓLISIS ÁCIDA

A escala industrial, el método más utilizado para la extracción de pectina es la hidrólisis ácida. La ventaja principal de la hidrólisis es su alto rendimiento a comparación de otros métodos de extracción que poseen buena calidad pero bajo rendimiento, aparte de ser de muy alto costo de producción.

El método más conocido para obtener pectina es la hidrólisis ácida, el cual consiste en someter al sustrato a una cocción en medio ácido, posterior filtración y purificación, con lo cual se logra separar la pectina presente del resto de compuestos, para luego secarla y molerla hasta tener un fino polvo listo para comercializarlo (Aza et al, 2011).

3.10.2.ACCIÓN DE ENZIMAS

Las pectinas pueden separarse de forma natural de los tejidos vegetales denominada protopectina cuando la fruta está extremadamente madura y cuando las enzimas actúan naturalmente sobre estas.

Las enzimas pécticas se pueden clasificar, dependiendo del tipo de actividad que catalizan, en dos grupos: las des-esterificantes (pectina estereasas) y des-polimerizantes.

Las primeras catalizan la hidrólisis de los ésteres metílicos del ácido poligalacturónico, liberando metanol al medio y convirtiendo las pectinas en ácidos pécticos. Las segundas son un grupo más numeroso de enzimas capaces de desdoblar las cadenas de ácido poligalacturónico de diverso grado de esterificación en unidades de menor tamaño (Granados y Castañeda, 2000).

3.10.3.MEDIO ALCALINO

En el proceso de extracción de pectina en medio de un proceso alcalino se usa el hexametáfosfato como agente secuestrante. El objetivo es secuestrar cationes (calcio, magnesio, cobre, hierro, etc.), y de tal forma que no precipitan en forma de costras o de deposiciones, sino que queden en disolución.

A estos efectos también se puede utilizar el citrato sódico, fluoruro sódico o el EDTA. Con este método se puede obtener pectinas de buena calidad debido a que estos elementos forman compuestos como pectatos de calcio que mejoran la solubilidad de la pectina, pero son de bajo rendimiento (Aza et al, 2011).

3.11. RENDIMIENTO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN

Los rendimientos dependen directamente de la cantidad de agua que se agrega en el proceso de extracción, es decir, entre mayor sea la cantidad de agua utilizada para la

extracción permite el aumento del rendimiento y la extracción de mayores cantidades de pectina.

Algunos valores encontrados en la bibliografía respecto a rendimientos de extracción de la pectina del nopal son, por ejemplo, el de Cárdenas et al (1997), que reporta un rendimiento de 0.07 g / 100 g de nopal fresco. Sáenz et al (2007) obtuvieron rendimientos entre 1.3-1.6 g / 100 g nopal fresco; y en función del volumen de agua, temperatura y tiempo de extracción. Majdoub et al (2001) publican un rendimiento de 0.085 g de mucílago purificado / 100 g de pulpa fresca, donde se eliminaron proteínas y minerales mediante ultrafiltración (Abraján, 2008).

3.12. REOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

Los alimentos, además de ofrecer un olor, color y sabor característico, exhiben determinado comportamiento mecánicos: reaccionan de un cierto modo cuando intentamos deformarlos. Estos pueden ser duros o blandos, correosos o deleznales; gomosos o quebradizos; de textura uniforme o fibrosa, etc. Unos fluyen fácilmente, otros con dificultad.

Al estudio físico del comportamiento mecánico de los materiales se les denomina "Reología", que es la ciencia de la deformación de la materia, que se ocupa preferentemente de la deformación de los cuerpos aparentemente continuos y coherentes, pero con frecuencia trata también de la fricción entre sólidos, del flujo de polvo, e incluso de la reducción de partículas, o molturación (Muller, 1977).

3.12.1. VISCOSIDAD

La viscosidad es la resistencia que una sustancia presenta para fluir libremente y es el resultado de la fricción interna que se genera entre las capas del líquido o semilíquido. Para una mejor comprensión sobre este fenómeno, si se tiene un líquido con diferentes capas donde se aplica fuerza a una de las capas y esta capa adquiere una velocidad V_1 , la segunda capa se moverá más lento debido al roce entre la primera y segunda capa y la segunda capa adquirirá una velocidad más lenta V_2 debido a la viscosidad entre las dos capas; el movimiento se seguirá transmitiendo pero cada vez más lento, de tal manera que la última capa fluirá más lento y por lo tanto a una menor viscosidad (Badui, 1999).

De acuerdo a los diferentes tipos de comportamiento, los líquidos se dividen en fluidos newtonianos y no newtonianos. Los newtonianos presentan una relación proporcional entre el esfuerzo de cizallamiento o esfuerzo de corte aplicado (T) y la rapidez de corte o deformación (Y) a través del coeficiente de viscosidad (η) del fluido en cuestión. Estos tienden a tener la misma viscosidad a diferentes razones de corte y se les llama

así debido a que se mantienen sobre un mismo rango de razón de corte al ser medido (Badui, 1999).

Los sistemas fluidos no newtonianos se encuentran en los alimentos, sus propiedades dependen de las características moleculares y estructurales de los coloides que los componen, como la forma y el tamaño de las partículas, al igual que el grado de interacción y el ordenamiento que existe entre las partículas. Todos estos factores determinan el comportamiento del fluido.

A diferencia de los fluidos newtonianos, los no newtonianos tienen diferentes viscosidades a diferentes cortes de deformación (Badui, 1999).

4. GOMITAS SUAVES

Las gomitas son caramelos masticables muy dulces, que tienen en su forma algún agente colágeno que les otorga una textura elástica, y que esto les permite recuperar su forma rápidamente cuando se deja de hacer presión.

Las gomas deben ser estables, lo que implica que su humedad debe estar en equilibrio con el entorno natural. Estas pueden ser elaboradas a partir de grenetina, pectinas y/o gomas; así mismo, pueden ser adicionadas con edulcorantes, saborizantes y colorantes alimenticios. Debido a su naturaleza puede ser moldeado en miles de formas, por lo que son uno de los productos de confección más versátiles (Rivera, 2011).

Las gomitas suaves son un ejemplo en confitería de consistencia amorfa; estos se basan en dos principios: la solubilidad del azúcar y el punto de ebullición de soluciones saturadas de azúcar que indica la concentración del jarabe y que determina la textura de los confites. Los confites se producen por cristalización de la sacarosa a partir de una solución súper-saturada. Las diferencias que existen entre ellas dependen del contenido de agua (Mandamiento et al, 2011).

4.1. ANTECEDENTES

Las gomas suaves fueron desarrolladas por primera vez en Bonn, Alemania, en 1900 por Hans Riegel, y que ganó gran popularidad en los Estados Unidos durante la década de 1980. Hoy en día, continúa siendo popular, con unas ventas totales superiores a los \$ 135 millones de dólares en 1996 en los Estados Unidos, solamente.

Caramelos Gummy representa un avance más reciente en tecnología de dulces. Los caramelos suaves o blandos se ha fabricado desde 1920, en ese momento se habían limitado la distribución de gomas suaves en todo el mundo hasta la década de 1980; y fue entonces cuando se comenzó a fabricar ositos de goma en los Estados Unidos. La moda tuvo éxito, causando que otras empresas desarrollaran productos similares:

Hershey, Brach, y Farley. Ahora, las gomitas suaves están disponibles en varias formas diferentes, desde los dinosaurios hasta los rollos de fruta. Según un fabricante de gelatina, casi la mitad de la gelatina a escala mundial en la actualidad se destina a hacer gomitas (Olachea, 2011).

4.2. PERFIL DEL CONSUMIDOR

Según la Asociación Nacional de Tiendas de Autoservicio y Departamentales A.C. de México (Antad), el nicho principal de la confitería se encuentra entre los menores de 20 años, que representan el 52% de la población mexicana. De este grupo, el 60% son niños y el 40% jóvenes. Entre el 80% y el 90% del mercado de las golosinas está orientado en el consumidor infantil (paletas, caramelos, dulces).

Recientemente, se ha identificado un cambio en las tendencias de consumo de las personas mayores de 25 años de estratos altos, que cada día se inclinan más por productos dietéticos o que incluyan una adición de fibra, vitaminas o minerales (LEGIS-COMEX, 2009).

4.3. TENDENCIAS DEL MERCADO LATINOAMERICANO

La categoría de pastillas, chicles, gomitas gelatinosas y caramelos masticables registró un crecimiento superior al promedio gracias a la intensa actividad desplegada en torno a las innovaciones en estas clases de productos.

Muchas empresas están elaborando gomitas gelatinosas con formas y colores atractivos, dirigidas a los niños. Durante este año 2013, se espera que las golosinas con sabor a menta extra, y también las pastillas, chicles, gomitas gelatinosas y caramelos masticables, registren los más altos aumentos en ventas a valores constantes: el 33% y el 28%, respectivamente (Moyano, 2012).

III. OBJETIVOS

1. OBJETIVO GENERAL

Extraer, optimizar y estandarizar la pectina de alto metoxilo del nopal, *Opuntia ficus indica*, y utilizarla como agente aditivo en la elaboración de golosinas suaves.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Extraer del nopal, *Opuntia ficus indica*, la pectina de alto metoxilo para su uso como agente gelificante natural.
- Optimizar su extracción y estandarizarla como la base principal en la elaboración de golosinas tipo gomitas.
- Elaborar las gomitas considerando una fórmula base y usando grenetina y pectina de grado comercial como referencias.
- Caracterizar fisicoquímicamente a las gomitas obtenidas: grenetina, pectina comercial y pectina de alto metoxilo.
- Realizar pruebas panel para determinar el grado de aceptabilidad en las gomitas a base de pectina de alto metoxilo de nopal.

IV. JUSTIFICACIÓN

A nivel mundial existe una gran producción de nopal, y en América su distribución va desde Canadá hasta Chile. En México los estados en los que más destaca su producción son Distrito Federal, Puebla, Michoacán, Guanajuato, Zacatecas, y San Luis Potosí, entre otros.

Este tiene un gran aprovechamiento en la industria de alimentos, así como en la industria farmacéutica, cosmética y textil. También se utiliza para la conservación de suelos, como cerco, para combatir la contaminación, en el sector de la construcción, y en el sector energético y turístico.

Además, existen muchos estudios en los que se reportan todos los beneficios que nos brinda el nopal al ser ingerido, ya que posee propiedades nutricionales y medicinales: mejora la circulación de la sangre, enfermedades del corazón, ayuda a tener una buena digestión, y la fibra insoluble que contiene crea una sensación de saciedad; también regula los niveles de azúcar, triglicéridos y colesterol en la sangre, protege la mucosa gastrointestinal y previene los daños en el sistema nervioso; ayuda a diluir la concentración de cancerígenos que pudieran estar presentes; y ayuda a prevenir la osteoporosis.

La pectina es un polisacárido natural que se encuentra en las paredes de las células vegetales. Éste es muy importante desde el punto de vista fisiológico, ya que, forma parte de lo que llamamos fibra soluble; tiene usos en medicina, donde favorece el tránsito intestinal; en la industria alimentaria, como espesante; en la industria farmacéutica, etc. Sin embargo para muchas personas su textura no es nada agradable; y es por ello que con base a la extracción de la pectina de alto metoxilo de nopal y combinándola con la gretina, se pueda agregar a una golosina como lo son las gomitas y que éste forme, por la adición de la pectina, en un alimento funcional.

V. HIPÓTESIS

La pectina de alto metoxilo es un polisacárido natural que tiene un grado de esterificación mayor al 50%. Este grado de esterificación es el porcentaje de unidades de ácido galacturónico que están esterificados con el etanol; y esto influye en la propiedad gelificante de la pectina.

La pectina de alto metoxilo tiene un elevado poder gelificante y confiere estabilidad al alimento. Esta situación se aprovechará para usarla en el proceso de elaboración de golosinas suaves, y obteniéndose gomitas aceptables organolépticamente y comparadas con las tradicionales, pero con un aporte benéfico y funcional.

VI. MATERIAL Y MÉTODOS

1. MATERIA PRIMA

Se utilizó nopal fresco de la especie *Opuntia ficus indica*, adquirido en el mercado de San Juan en la ciudad de Morelia, Michoacán, México.

2. MATERIAL Y EQUIPOS

Para la obtención de pectina se utiliza:

- ✓ Analizador de textura (Texture Analyser modelo TA-XT2t)
- ✓ Balanza Analítica Digital. Marca Precisa. Capacidad 220g. Modelo XT220A.
- ✓ Balanza Granataria, Marca Ohaus. Capacidad de 2,610g. Modelo Triple Beam Balance TJ2611.
- ✓ Centrífuga. Marca International Equipment Company a Division of Damon Refrigerated. Modelo PR-J.
- ✓ Desecador. Marca Nalgene. Modelo: 150MM.
- ✓ Deshidratador solar.
- ✓ Digestor de Fibra. Marca Labconco.
- ✓ Estufa de Secado. Marca Felisa Modelo Fe-291D.
- ✓ Extractor Soxhlet.
- ✓ Licuadora. Marca Osterizer.
- ✓ Macro Kjeldhal.
- ✓ Material de vidrio.
- ✓ Mufla. Marca Felisa. Modelo: FE-363.
- ✓ Papel filtro.
- ✓ Placa de Calentamiento para laboratorio Marca Lindberg. Modelo 53066.
- ✓ Potenciómetro. Marca Hanna. Modelo Microprocessor Meter pH 210.
- ✓ Refractómetro. Marca Bausch & Lomb. Serie 01210525.
- ✓ Refrigerador. Marca General Electric. Modelo Turbo Plus Cooling Sisyem.
- ✓ Termómetro. Tubos falcón de 50 mL

Para la elaboración de las gomitas se ocupa:

- ✓ Balanza Granataria. Marca Ohaus Capacidad de 2,610g. Modelo Triple Beam balance TJ2611.
- ✓ Cacerola con capacidad de 2 L
- ✓ Cuchara de cocina. Cuchara sopera.
- ✓ Molde flexible
- ✓ Placa eléctrica de Calentamiento para laboratorio. Marca Lindberg. Modelo 53066.

3. METODOLOGÍA

3.1. EXTRACCIÓN DE PECTINA DE ALTO METOXILO.

Para la extracción de la pectina de alto metoxilo se utilizó la metodología propuesta por Arizmendi, 2004. Así mismo, para la obtención de la pectina se hicieron dos pruebas: nopal con espinas y nopal sin espinas. Posteriormente, se procedió a obtener un lote grande de pectina en polvo para poder elaborar las gomitas (Fig. 13).

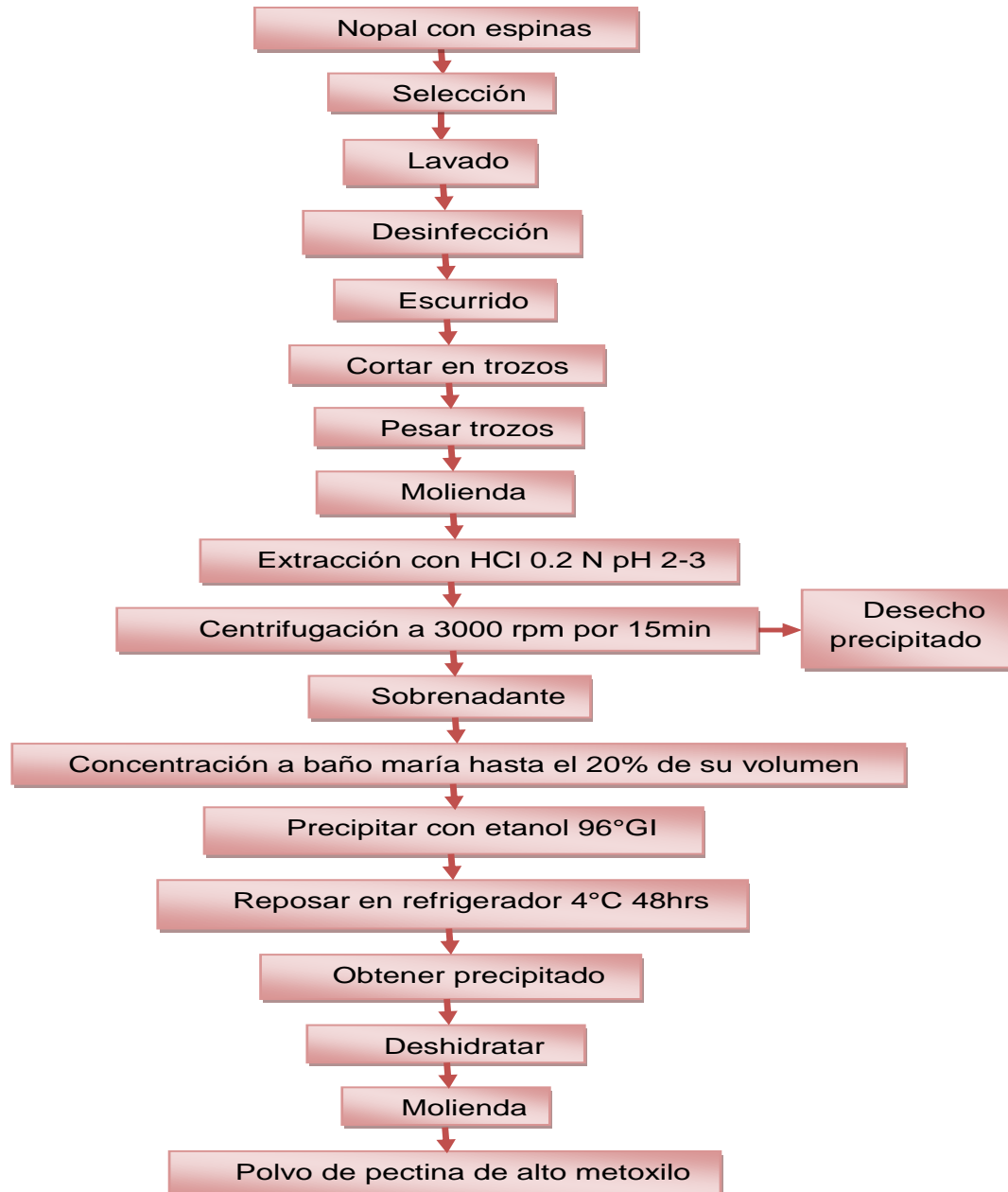


Figura 13. Metodología optimizada para la extracción de pectina

1. Pencas de Nopal, *Opuntia ficus indica*. Mercado de San Juan. Morelia Michoacán (Fig. 14). Se eliminaron las pencas en mal estado, para una mejor calidad.
2. Las pencas se lavaron con agua y con jabón para eliminar las impurezas (Fig. 15).
3. Se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 0.1% con la finalidad de eliminar los agentes patógenos y la flora bacteriana (Fig. 16).
4. Se escurrieron las pencas para eliminar el exceso de agua (Fig. 17).
5. Se cortaron en trozos para facilitar el proceso de licuado (Fig. 18).
6. La materia prima se pesó en una balanza granataria (Fig. 19). Se trabajó con 1 Kg de nopal y se determinó el porcentaje de rendimiento.
7. Teniendo el peso neto de los cladodios se procedió a molerlos con agua destilada en una relación 1:2 (Fig. 20).
8. Se realizó la extracción con HCl 0.2 N hasta un pH 2-3 en tratamiento térmico no mayor a 80°C por 1 hora y con agitación (Fig. 21).
9. Se dejó reposar a temperatura ambiente.
10. Se centrifugó a 3,000 rpm por 15 minutos en tubos Falcón de 50 ml de capacidad (Fig. 22).
11. El sobrenadante se llevó a baño María y se concentró hasta un 20% del volumen total a una temperatura menor de 65°C (Fig. 23).
12. Se agregó etanol a 96°Gl en una relación 1:4 (Fig. 24).
13. Se dejó reposar por 48 horas en refrigeración.
14. Se recuperó la pectina (Fig. 25), eliminando el porcentaje de humedad presente por deshidratación solar (Fig. 26).
15. La pectina seca se pulverizó (Fig. 27 y 28).



Figura 14. Selección.



Figura 15. Lavado.



Figura 16. Desinfección.



Figura 17. Escurreido.



Figura 18. Picado.



Figura 19. Pesado.



Figura 20. Molienda.



Figura 21. Extracción HCl.



Figura 22. Centrifugación.



Figura 23. Concentración.



Figura 24. Precipitación.



Figura 25. Recuperación.



Figura 26. Secado.



Figura 27. Molienda.



Figura 28. Pectina Seca.

4. PRUEBAS. PECTINA COMERCIAL Y PECTINA DE NOPAL

De acuerdo a las características físicas de precipitación, gelificación y solubilidad de la pectina, se realizaron pruebas comparativas entre una pectina comercial y la obtenida de alto metoxilo de nopal (Aza et al, 2011).

4.1. PRECIPITACIÓN EN ETANOL

El objetivo de esta prueba es realizar una comparativa entre la pectina obtenida y una pectina comercial y comprobar que precipitan en etanol.

En dos vasos de precipitado se colocó 50 ml de etanol en cada uno, y en un vaso se agregó la pectina comercial, y en el otro vaso la pectina obtenida.

4.2. GELIFICACIÓN EN AGUA CALIENTE

El objetivo de esta prueba es realizar una identificación entre la pectina obtenida y una pectina comercial y comprobar que las dos gelifican en agua caliente.

En dos vasos de precipitado se colocó agua caliente en cada uno, y se agregó la pectina comercial, y en el otro vaso la pectina obtenida.

4.3. SOLUBILIDAD EN AGUA CALIENTE

Como objetivo se pretende realizar una prueba de identificación comparando la pectina obtenida con la pectina comercial, y comprobar que son solubles en agua caliente.

En dos vasos de precipitado se colocó agua caliente en cada uno, y se agregó la pectina comercial, y en el otro vaso la pectina obtenida.

4.4. SOLUBILIDAD EN ETANOL

Como objetivo se pretende realizar una prueba de identificación comparando la pectina obtenida con una pectina comercial, y comprobar que no son solubles en etanol.

En dos vasos de precipitado se colocó etanol en cada uno, y se agregó la pectina comercial en un vaso, y en el otro vaso la pectina obtenida.

5. ELABORACIÓN DE LAS GOMITAS

Una vez extraída la pectina de alto metoxilo del nopal *Opuntia ficus indica*, se procede a la elaboración de las gomitas, siguiendo el proceso establecido por la PROFECO (Procuraduría Federal del Consumidor). Se realizó la metodología para preparar varios tipos de gomitas variando solo el agente gelificante:

- Gomitas a base de pectina de nopal de alto metoxilo
- Gomitas a base de pectina de nopal de alto metoxilo-grenetina
- Gomitas a base de pectina comercial
- Gomitas a base de grenetina

Como referencia se elaboraron las gomitas a base de grenetina y a base de pectina grado comercial.

5.1. METODOLOGÍA

La elaboración de las gomitas se basó en el procedimiento establecido por la PROFECO, 2010. (Fig. 29)



Figura 29. Procedimiento establecido por la PROFECO, 2010

5.1.1. METODOLOGÍA GOMITAS CON PECTINA DE NOPAL

En la fig. 30 se presentan los pasos para la elaboración de las gomitas tipo golosinas usando pectina de nopal.

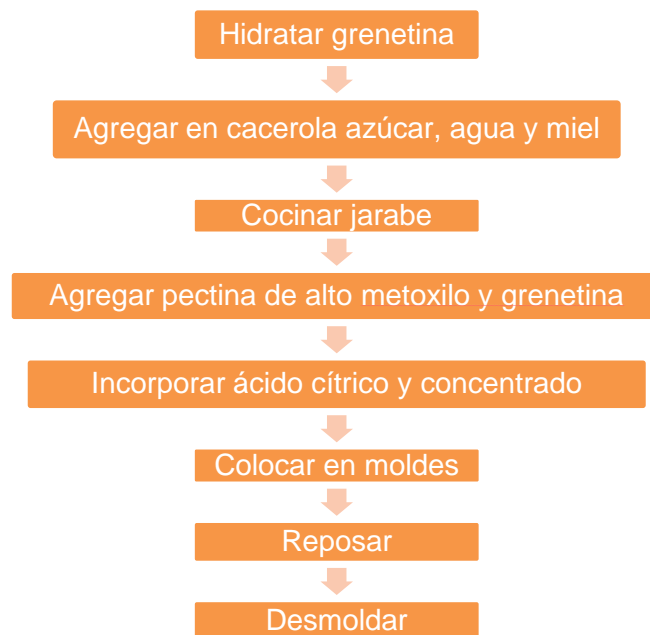


Figura 30. Elaboración de las gomitas

5.2. ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

Se realizó un análisis proximal para determinar la aportación nutrimental de las gomitas elaboradas con pectina de nopal.

5.2.1. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Se determinó por el método 934.01 de la AOAC (1997). Norma técnica de referencia NMX-F-083-S-1986.

5.2.2. DETERMINACIÓN DE CENIZAS

Se determinó por incineración por el método 962.09 de la AOAC (1997). Norma técnica de referencia NMX-F-607-NORMEX-2002.

5.2.3. DETERMINACIÓN DE LÍPIDOS

Se determinó por el método 920.85 de la AOAC (1997). Norma técnica de referencia. NMX-F-615-NORMEX-2004.

5.2.4. DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO PROTEICO

Determinación de proteína cruda por el método de Kjeldhal. Se determinó por el método 920.87 de la AOAC (1997). Norma técnica de referencia NMX-F-608-NORMEX-2002

5.2.5. DETERMINACIÓN DE FIBRA CRUDA

Se determinó por método 985.29 de la AOAC (1997). Norma técnica de referencia NMX-F-613-NORMEX-2003.

5.3. DETERMINACIÓN DE FIBRA DIETÉTICA

Se determinó por el método enzimático de Prosky et-al 1988.

5.4. DETERMINACIÓN DE pH

Se determinó por el método 943.02 de la AOAC (2005). Por medio del pH-metro. Norma técnica de referencia NMX-F-317-S-1978.

5.5. DETERMINACIÓN DE °BRIX

Por medio del Refractómetro. Norma técnica de referencia NMX-F-103-1982.

5.6. DETERMINACIÓN DE FIRMEZA

Se utilizó el analizador de textura, Texture Analyser modelo TA-XT2t, y se realizó el ensayo de resistencia a la penetración.

5.7. RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

Se realizó colocando la gomita en el medidor de textura. Se penetró con la punta cilíndrica plana de acero inoxidable de 2 mm, a una distancia de 1 mm, y una velocidad de desplazamiento de 5 mm/s. El valor obtenido fue expresado en gramos fuerza.

5.8. PRUEBAS PANEL

Se realizaron pruebas panel de degustación para evaluar el grado de aceptabilidad del producto terminado. Se realizó un panel de degustación a 30 panelistas, usando escala hedónica, y se obtuvo la significancia estadística con un margen de error de <0.05 .

VII. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación se muestran los resultados de la optimización de la metodología en la obtención de la pectina de nopal en polvo.

1. RENDIMIENTO DE NOPAL CON Y SIN ESPINAS

Para determinar el rendimiento de la obtención de pectina de alto metoxilo de nopal se tuvieron dos muestras alternativas con la finalidad de verificar la influencia de remoción de espinas respecto al porcentaje total de pectina.

En vista de esto se trabajó con nopal sin espinas y nopal con espinas omitiendo en éste el paso de remoción de piel y de espinas. Al finalizar las 2 extracciones no se encuentra ninguna diferencia en cuanto a calidad ni rendimiento, sin embargo si hay diferencia en cuanto a tiempos de proceso, teniendo una reducción significativa; por lo que se decidió utilizar el nopal con espinas, obteniéndose un rendimiento de 2% de pectina.

2. EXTRACCIÓN DE PECTINA DE ALTO METOXILO

Las sustancias pécticas comprenden un grupo extenso de polisacáridos vegetales cuya estructura básica está integrada por moléculas de ácido D-galacturónico unidas por enlaces glucosídicos α -D- (1,4) y en la cual algunos de los carboxilos pueden estar esterificados con metilos en forma de sal. Su metoxilación es importante y es por ello que se han dividido en dos grupos: las de alto metoxilo y las de bajo metoxilo (Badui, 1999).

El grado de esterificación determina el comportamiento de las pectinas, el proceso esencial para producir pectina de alto metoxilo es la hidrolisis ácida. Un porcentaje alto de grupos ácido disociados respecto a no disociados hace la pectina más hidrofílica.

Por lo tanto, la tendencia a gelificar aumenta considerablemente al bajar el pH; y es así que las pectinas con alto metoxilo necesitan para formar geles contar con un valor de pH 3.5. Al contrario de las pectinas de alto metoxilo las pectinas de bajo metoxilo forman geles termo reversibles por interacción con el calcio presente en el medio; el pH y la concentración de sólidos son factores secundarios (Aza et al, 2011).

Para obtener la pectina de alto metoxilo se realizó en el momento de la extracción la adición de HCl 0.2 N hasta obtener un pH de 3. Agregando este insumo obtenemos la pectina de alto metoxilo.

También se realizó este proceso pero sin la adición del HCl obteniendo una pectina de bajo metoxilo la cual tenía características termorreversible con un pH 6, acercándose a la neutralidad.

Según Domínguez et-al (2011) las pectinas de alto metoxilo forman geles al adicionarles ácidos y azúcares entre un pH de 3.0 a 3.4 y a temperaturas elevadas; cuando se agregó la pectina de nopal en la elaboración de gomitas estas gelificaron aun teniendo una temperatura elevada, por lo que resulta tener un alto grado de gelificación.

El grado de esterificación de las pectinas de alto metoxilo influye en sus propiedades, a alto grado de esterificación mayor es la temperatura de gelificación (Domínguez et-al, 2011); al agregar la pectina de nopal al jarabe para la elaboración de las gomitas, estas gelificaron a 90°C, instantáneamente, por lo tanto, de acuerdo a lo que describe Domínguez la pectina de nopal resulta tener un alto grado de esterificación cercano al 75%, clasificada como una pectina rápida. Ya que una pectina con un grado de esterificación por debajo del 65% no gelifica a 75°C y se clasifica como pectina lenta.

La proporción entre grupos hidrofóbicos e hidrofílicos en la molécula de pectina determina la solubilidad de ésta (Domínguez et-al, 2011). El grupo éster es menos hidrofílico que el grupo ácido y en consecuencia una pectina de alto metoxilo con un alto grado de esterificación como es el de la pectina de nopal, gelifica a temperaturas más altas que otras con menor grado de esterificación; esta diferencia se refleja en la clasificación de las pectinas.

La longitud de la molécula péctica condiciona la rigidez o firmeza del gel. A valores de longitud muy bajos una pectina no da geles, cualquiera que sea su dosis empleada y las condiciones del medio (Domínguez et-al, 2011); de acuerdo a lo descrito se puede decir que nuestra pectina de nopal tiene una longitud considerable ya que le proporcionó rigidez y firmeza a las gomitas.

El grado de metoxilación contribuye a regular la velocidad de gelificación (Domínguez et-al, 2011); por lo tanto la pectina de nopal presenta un alto grado de metoxilación ya que la velocidad de gelificación de las gomitas es muy rápido.

Mediante el proceso de extracción de pectina usando hidrólisis ácida, se logra obtener una pectina que cumple con los requerimientos de mercado, esto es: porcentaje de metoxilos, grado de gelificación, peso equivalente y porcentaje de ácido galacturónico; y el proceso presenta un buen rendimiento económico.

3. PECTINA COMERCIAL Y ALTO METOXILO DE NOPAL

La pectina es una sustancia de origen vegetal, presente en las plantas, principalmente en sus frutos, y su característica principal es ser un gelificante natural. Precisamente para comprobar ese poder gelificante de la pectina de alto metoxilo obtenida del nopal, se realizó una comparativa entre esta y una pectina comercial.

La tabla 9, nos muestra una comparativa entre los datos de la pectina comercial y los resultados obtenidos de las pruebas de la pectina obtenida de alto metoxilo de nopal; indicándonos que la pectina precipita en etanol y por lo tanto no es soluble en éste, gelifica y es soluble en agua caliente (Aza et al, 2011).

Tabla 9. Pruebas comparativas

PRUEBAS	PECTINA COMERCIAL	PECTINA OBTENIDA
Precipitación en etanol	+	+
Gelificación en agua caliente	+	+
Solubilidad en agua caliente	+	+
Solubilidad en etanol	-	-

4. ELABORACIÓN DE LAS GOMITAS

A partir de la metodología propuesta por la PROFECO 2010, se elaboraron gomitas de pectina de alto metoxilo de nopal sin utilizar grenetina y resultando un producto con textura muy compacta y que no satisfacía esa característica sensorial de producto terminado. Cabe mencionar que con pequeñas cantidades de pectina de nopal se endurecía el producto.

De tal manera que, como referencia y comparativa, se elaboraron gomitas a base de grenetina (Fig. 31) y a base de pectina comercial (Fig. 32).



Figura 31. Gomitas de grenetina.



Figura 32. Gomitas de pectina comercial.

Debido al bajo pH de la pectina de alto metoxilo y a su formación de geles irreversibles, las características organolépticas de las gomitas obtenidas con pectina de alto metoxilo no fueron las más indicadas ya que presentaron una consistencia muy dura comparada con la de un caramelo, por ello fueron descartas, debido a esto se prepararon combinando la pectina de nopal con grenetina, la proporción se determinó a prueba

y error; con la finalidad de suavizar la golosina obteniéndose una gomita mucho más suave y menos dura como producto final, abatiendo la cantidad de grenetina a más de un 60% comparadas con las gomitas hechas a base de grenetina (Fig. 33).



Figura 33. Gomita de pectina de nopal de alto metoxilo.

5. ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE LAS GOMITAS

A todas las muestras obtenidas: gomitas de grenetina, gomitas de pectina comercial, gomitas de pectina de alto metoxilo-grenetina, gomitas de pectina de alto metoxilo, y gomitas comerciales; se les realizó un análisis proximal (tabla 10).

Estos resultados fueron comparados con la tabla nutricional de las gomitas grupo Bimbo, 2012 (tabla 11), donde podemos observar que las gomitas grupo Bimbo contienen menor cantidad en carbohidratos con un 40.5% y proteínas con 1% y un nulo contienen en fibra y minerales en comparación con las gomitas de alto metoxilo-grenetina que contienen 1% en fibra soluble, 67.96% en carbohidratos, 6.27% de proteína aportado básicamente por la grenetina, 0.44% en minerales.

Tabla 10. Análisis proximal de los diferentes tipos de golosinas

	Grenetina	Pectina Comercial	Pectina Alto Metoxilo-Grenetina	Pectina de Alto Metoxilo	Comerciales
Humedad	33.10%	30.18%	24.94%	1.76%	12.66%
Carbohidratos	57.99%	68.62%	67.96%	96.62%	80.06%
Fibra Cruda	0%	0%	0%	0%	0%
Fibra Soluble	0%	4%	1%	1%	0%
Proteína	8.05%	0.58%	6.27%	0.88%	6.64%
Grasas	0.63%	0.50%	0.39%	0.49%	0.53%
Cenizas	0.23%	0.12%	0.44%	0.25%	0.11%
pH	2	3	2	2	2
°Brix	93.2	80.0	83.2	76.68	80

Tabla 11. Referencia de las gomitas. Grupo Bimbo, 2012

Parámetros	Gomitas
Humedad	15-30%
Ceniza	0%
Fibra	0%
Proteína	1%
Grasa	0%
Carbohidratos	40.5%

Organolépticamente, esta combinación pectina de alto metoxilo-grenetina resultó ser significativa por los resultados obtenidos en las pruebas panel.

6. DETERMINACIÓN DE FIRMEZA

Esta prueba fue realizada por triplicado a nuestro producto final gomitas de pectina de alto metoxilo-grenetina y a las gomitas elaboradas como referencia, gomitas a base de grenetina y gomitas a base de pectina de comercial.

En la tabla 12 podemos observar que en los resultados del promedio no hay gran diferencia significativa por lo que las tres muestras tienen una textura similar, como lo muestra la figura 34.

Tabla 12. Resultados de firmeza

	Grenetina	Pectina Nopal-Grenetina	Pectina comercial
	1.1569 N	1.2446 N	0.7889 N
	1.4148 N	1.3241 N	0.7604 N
	1.211 N	1.3272 N	0.8440 N
Promedio	1.2609 N ^a	1.2986 N ^a	0.7978 N ^a

Nota: a, b. Letras iguales no muestran diferencia significativa, letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

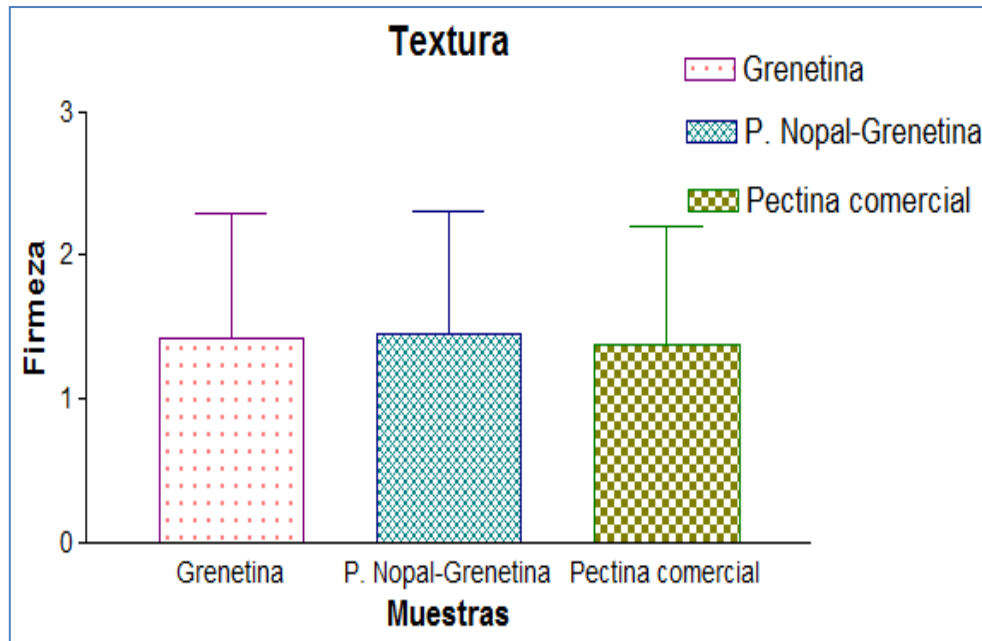


Figura 34. Textura de las gomitas.

7. PRUEBAS PANEL

Las pruebas planes se realizaron al juez consumidor, de diferentes edades entre los 15 y 50 años.

Se realizó a medio día, con la finalidad de que el catador no tuviese una sensación de saciedad ni tampoco de hambre ya que esto podría arrojar resultados erróneos.

Se suministró al catador un vaso con agua para lavado bucal después de cada muestra.

Las indicaciones que se dieron a cada catador para poder realizar este panel fueron:

- Tomar la muestra observar su color, olerla con atención, masticar despacio pasarlo por la lengua para sentir la textura.
- Ya que fue deglutida la muestra, hacer un lavado bucal.
- Marcar en la hoja de evaluación un calificativo por cada muestra.
- Realizar lo mismo con cada muestra.

En la tabla 13, se muestra la hoja con la que se evaluaron las gomitas donde se detallan las características que calificaron cada uno de los catadores.

Tabla 13. Hoja para la evaluación de las gomitas

PANEL DE DEGUSTACIÓN			
GOMITAS DE PECTINA DE NOPAL DE ALTO METOXILO			
Califique los atributos de las muestras que se le presentan de acuerdo a la escala hedónica que se indica en la parte inferior. Marque sólo una calificación por muestra hedónica que se indica en la parte inferior. Marque una calificación por muestra.			
Muestra	A	B	C
Color			
Olor			
Textura			
Sabor			

5	Me gusta mucho
4	Me gusta
3	No me gusta ni me disgusta
2	Me disgusta
1	Me disgusta mucho

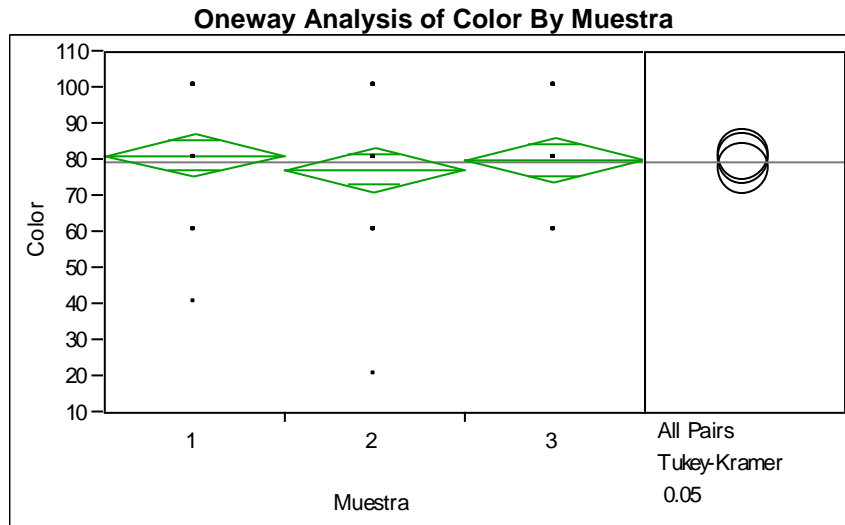
Para la evaluación de las características organolépticas tal como color, olor, sabor y textura se realizaron pruebas panel de degustación y con ello, el grado de aceptabilidad de las gomitas.

En la tabla 14 y figura 35 observamos que no hay diferencia significativa en cuanto a la aceptabilidad de color.

Tabla 14. Significancia de color

Color	
Muestra	% aceptación
A= Gomitas de grenetina	81.3 ^a
B= Gomitas de pectina de nopal-grenetina	76.7 ^a
C= Gomitas de pectina comercial	80 ^a

Nota: a, b. Letras iguales no muestran diferencia significativa, letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$).



**Oneway Anova
Summary of Fit**

Rsquare	0.010378
Adj Rsquare	-0.01237
Root Mean Square Error	16.51657
Mean of Response	79.55556
Observations (or Sum Wgts)	90

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Muestra	2	248.889	124.444	0.4562	0.6352
Error	87	23733.333	272.797		
C. Total	89	23982.222			

Means for Oneway Anova

Level	Number	Mean	Std Error	Lower 95%	Upper 95%
1	30	81.3333	3.0155	75.340	87.327
2	30	77.3333	3.0155	71.340	83.327
3	30	80.0000	3.0155	74.006	85.994

Std Error uses a pooled estimate of error variance

Means Comparisons

Comparisons for all pairs using Tukey-Kramer HSD

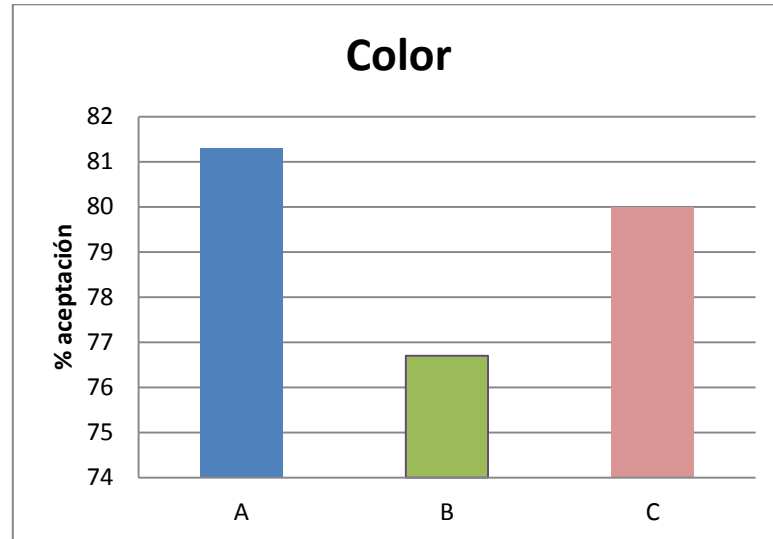
Abs(Dif)-LSD	q*	Alpha	1	3	2
1	2.38450	0.05	-10.169	-8.835	-6.169
3			-8.835	-10.169	-7.502
2			-6.169	-7.502	-10.169

Positive values show pairs of means that are significantly different.

Level		Mean
1	A	81.333333
3	A	80.000000
2	A	77.333333

Figura 35. Análisis estadístico de color.

En la figura 36 podemos ver que las gomitas de grenetina son las más aceptadas por los panelistas con un 81.3%, siguiendo las gomitas de pectina comercial con un 80% para finalizar con las gomitas de pectina de alto metoxilo de nopal-grenetina con un 76.7%.



Nota: muestra A= gomitas de grenetina, muestra B= gomitas de pectina de nopal-grenetina, muestra C= gomitas de pectina comercial.

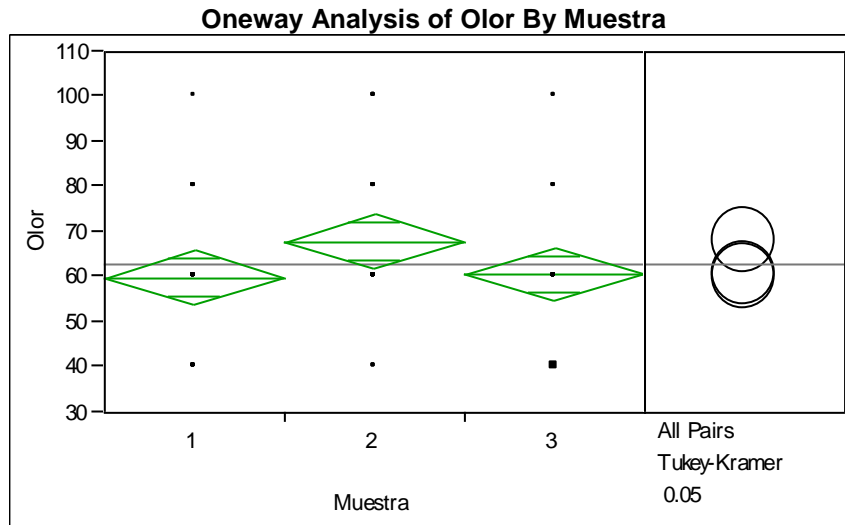
Figura 36. Porcentaje de aceptación en color.

En la tabla 15 y figura 37, podemos observar que en cuanto a olor no hay diferencia significativa.

Tabla 15. Significancia de olor

Olor	
Muestra	% aceptación
A= Gomitas de grenetina	60 ^a
B= Gomitas de pectina de nopal-grenetina	68 ^a
C= Gomitas de pectina comercial	60.7 ^a

Nota: a, b. Letras iguales no muestran diferencia significativa, letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$).



**Oneway Anova
Summary of Fit**

Rsquare	0.048355
Adj Rsquare	0.026478
Root Mean Square Error	16.35338
Mean of Response	62.88889
Observations (or Sum Wgts)	90

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Muestra	2	1182.222	591.111	2.2103	0.1158
Error	87	23266.667	267.433		
C. Total	89	24448.889			

Means for Oneway Anova

Level	Number	Mean	Std Error	Lower 95%	Upper 95%
1	30	60.0000	2.9857	54.066	65.934
2	30	68.0000	2.9857	62.066	73.934
3	30	60.6667	2.9857	54.732	66.601

Std Error uses a pooled estimate of error variance

Means Comparisons

Comparisons for all pairs using Tukey-Kramer HSD

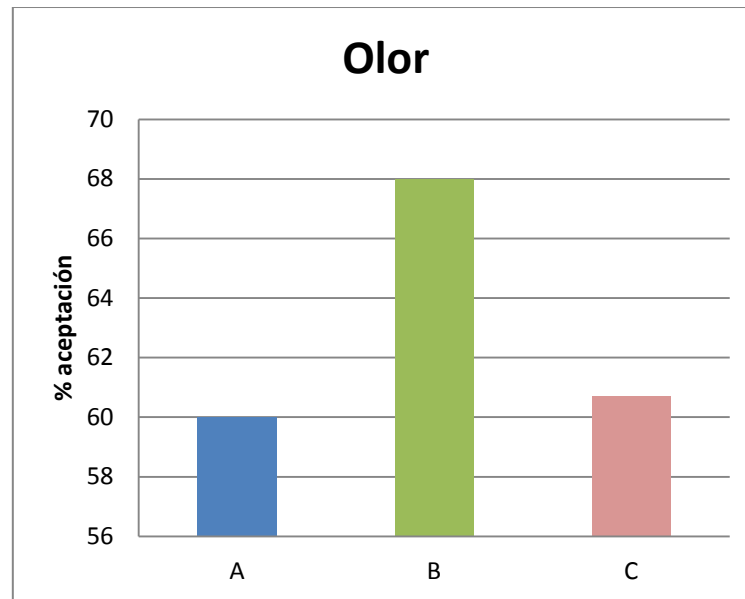
	q*	Alpha
	2.38450	0.05
Abs(Dif)-LSD		
2	2	3
3	-10.068	-2.735
1	-2.735	-10.068
3	-2.068	-9.402
2	-9.402	-10.068

Positive values show pairs of means that are significantly different.

Level	Mean
2	A 68.000000
3	A 60.666667
1	A 60.000000

Figura 37. Análisis estadístico de olor

En la figura 38, observamos que el olor es más aceptable en las gomitas de pectina de nopal-grenetina con un 68%, siguiendo de las gomitas de pectina comercial con un 60.7% y por último las gomitas a base de grenetina con un 60%.



Nota: muestra A= gomitas de grenetina, muestra B= gomitas de pectina de nopal-grenetina, muestra C= gomitas de pectina comercial.

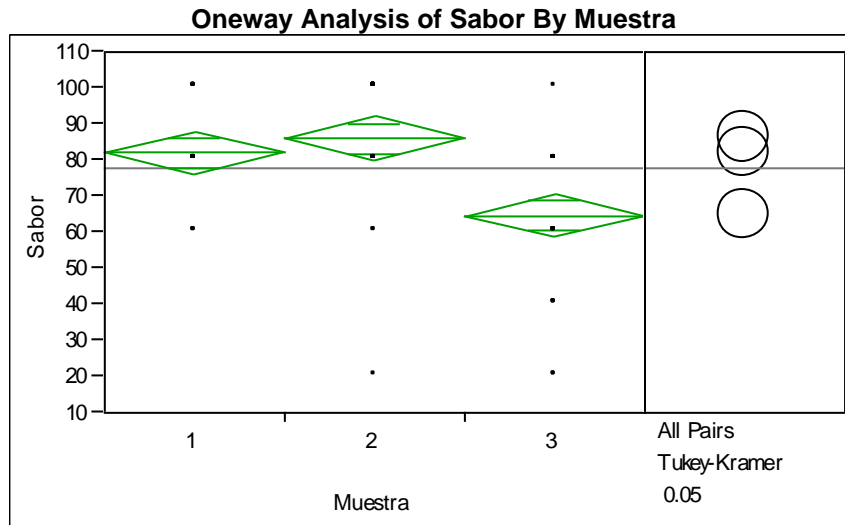
Figura 38. Porcentaje de aceptación en olor.

En la tabla 16 y figura 39, en cuanto sabor observamos que entre las gomitas de grenetina y las gomitas de pectina de nopal de alto metoxilo-grenetina no hay significancia, pero estas dos muestras si tienen diferencia significativa con las gomitas de pectina comercial.

Tabla 16. Significancia de sabor

Sabor	
Muestra	% aceptación
A= Gomitas de grenetina	82 ^a
B= Gomitas de pectina de nopal-grenetina	86 ^a
C= Gomitas de pectina comercial	64.7 ^b

Nota: a, b. Letras iguales no muestran diferencia significativa, letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$).



**Oneway Anova
Summary of Fit**

Rsquare	0.24839
Adj Rsquare	0.231112
Root Mean Square Error	16.38147
Mean of Response	77.55556
Observations (or Sum Wgts)	90

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Muestra	2	7715.556	3857.78	14.3758	<.0001
Error	87	23346.667	268.35		
C. Total	89	31062.222			

Means for Oneway Anova

Level	Number	Mean	Std Error	Lower 95%	Upper 95%
1	30	82.0000	2.9908	76.055	87.945
2	30	86.0000	2.9908	80.055	91.945
3	30	64.6667	2.9908	58.722	70.611

Std Error uses a pooled estimate of error variance

Means Comparisons

Comparisons for all pairs using Tukey-Kramer HSD

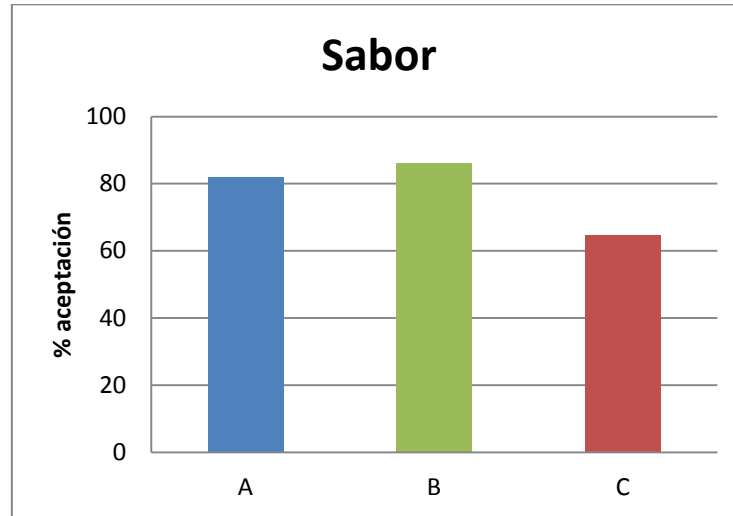
Abs(Dif)-LSD	q*	Alpha	2	1	3
	2.38450	0.05			
2			-10.086	-6.086	11.248
1			-6.086	-10.086	7.248
3			11.248	7.248	-10.086

Positive values show pairs of means that are significantly different.

Level	Mean
2 A	86.000000
1 A	82.000000
3 B	64.666667

Figura 39. Análisis estadístico de sabor

La figura 40, nos muestra que en cuanto el sabor a los panelistas les agrado más las gomitas de pectina de alto metoxilo de nopal con un 86%, después las gomitas de grenetina con un 82%, y las que menos gustaron fueron las gomitas de pectina comercial con el 64.7%.



Nota: muestra A= gomitas de grenetina, muestra B= gomitas de pectina de nopal-grenetina, muestra C= gomitas de pectina comercial.

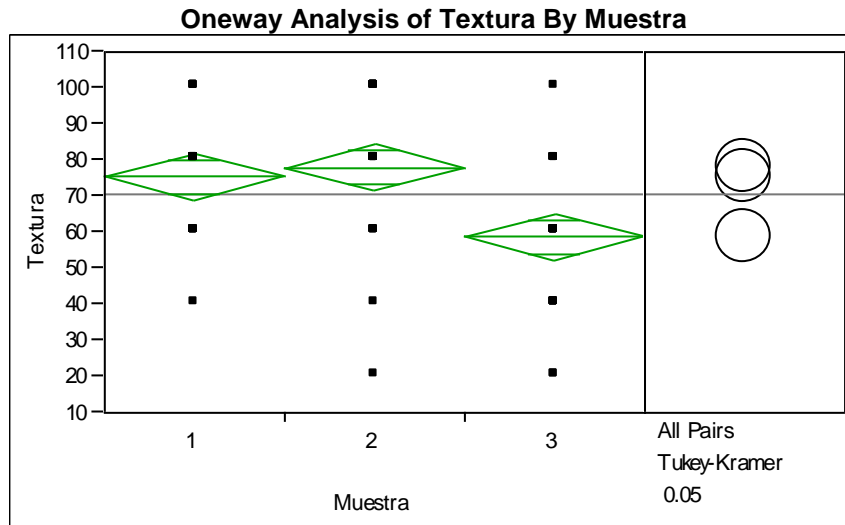
Figura 40. Porcentaje de aceptación en sabor.

La tabla 17 y figura 41, nos habla de la textura, donde podemos observar que entre las muestras de gomitas a base de grenetina y las gomitas de pectina de nopal de alto metoxilo-grenetina no hay significancia, pero estas dos muestras si logran tener una diferencia significativa con las gomitas a base de pectina comercial.

Tabla 17. Significancia de textura

Textura	
Muestra	% aceptación
A= Gomitas de grenetina	75.3 ^a
B= Gomitas de pectina de nopal-grenetina	78 ^a
C= Gomitas de pectina comercial	58.7 ^b

Nota: a, b. Letras iguales no muestran diferencia significativa, letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$).



**Oneway Anova
Summary of Fit**

Rsquare	0.195103
Adj Rsquare	0.176599
Root Mean Square Error	17.67306
Mean of Response	70.66667
Observations (or Sum Wgts)	90

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Muestra	2	6586.667	3293.33	10.5442	<.0001
Error	87	27173.333	312.34		
C. Total	89	33760.000			

Means for Oneway Anova

Level	Number	Mean	Std Error	Lower 95%	Upper 95%
1	30	75.3333	3.2266	68.920	81.747
2	30	78.0000	3.2266	71.587	84.413
3	30	58.6667	3.2266	52.253	65.080

Std Error uses a pooled estimate of error variance

Means Comparisons

Comparisons for all pairs using Tukey-Kramer HSD

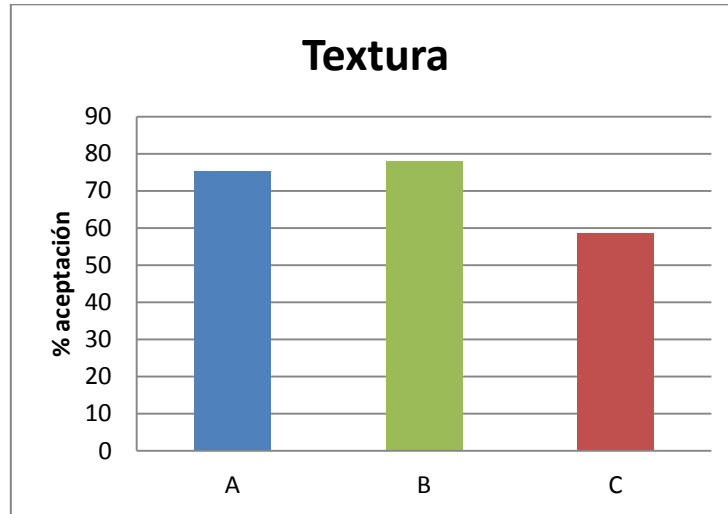
	q*	Alpha	Abs(Dif)-LSD		
	2.38450	0.05	2	1	3
2			-10.881	-8.214	8.452
1			-8.214	-10.881	5.786
3			8.452	5.786	-10.881

Positive values show pairs of means that are significantly different.

Level	Mean
2 A	78.000000
1 A	75.333333
3 B	58.666667

Figura 41. Análisis estadístico de textura

La figura 42, nos dice que a los panelistas les agrado más la textura de las gomitas de alto metoxilo de nopal con un 78%, después las gomitas a base de grenetina con un 75.3%, y la textura que menos agrado a los panelistas fueron las gomitas a base de pectina comercial con el 58.7%.



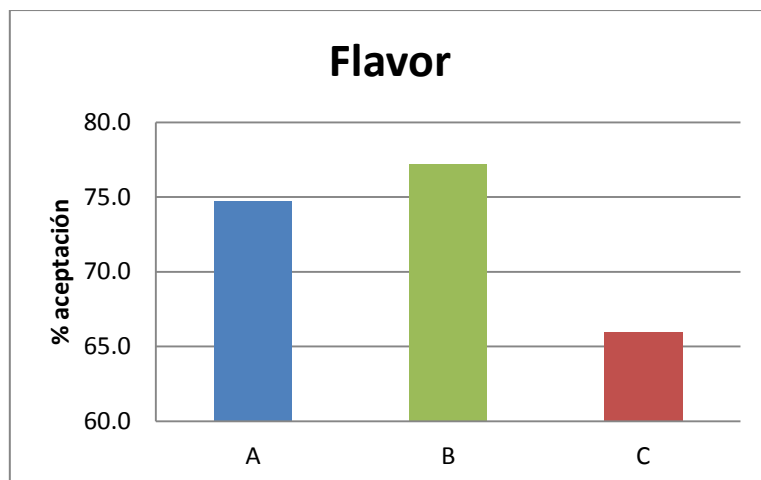
Nota: muestra A= gomitas de grenetina, muestra B= gomitas de pectina de nopal-grenetina, muestra C= gomitas de pectina comercial.

Figura 42. Porcentaje de aceptación en textura.

La tabla 18 nos habla del *flavor* que es conjunto de todas las propiedades color, olor, sabor y textura. Observando que las gomitas elaboradas con pectina de alto metoxilo de nopal-grenetina tienen el mayor porcentaje de aceptación con un 77.2%, seguidas de las gomitas de grenetina con el 74.7% y finalizando con las gomitas de pectina comercial con el 66.0% siendo las de menor aceptación representado en la gráfica (Fig. 43).

Tabla 18. Flavor

Flavor	
Muestra	% aceptación
A= Gomitas de grenetina	74.7
B= Gomitas de pectina de nopal-grenetina	77.2
C= Gomitas de pectina comercial	66.0



Nota: muestra A= gomitas de grenetina, muestra B= gomitas de pectina de nopal-grenetina, muestra C= gomitas de pectina comercial.

Figura 43. Porcentaje de aceptación de las gomitas

VIII. CONCLUSIONES

La metodología propuesta por Arizmendi fue optimizada en cuanto a tiempo de proceso, ya que se eliminó el paso de remoción de piel y espinas; y en el paso de extracción se agregó HCl 0.2 N para obtener la pectina de alto metoxilo de nopal. Además se concluye que el nopal adquirido en supermercados no es una buena alternativa para extraer la pectina, dado que el porcentaje de rendimiento del nopal adquirido en el centro comercial es de 1% mientras que el nopal que se compró en el mercado y que fue utilizado con piel y espinas, se tuvo un rendimiento del 2%. Se comprobó que no es necesaria la remoción de piel ni de espinas porque no afecta el resultado ni la calidad del producto.

Con el proceso desarrollado mediante hidrólisis ácida, se logró obtener una pectina que cumple con los requerimientos de mercado, esto es: porcentaje de metoxilos, grado de gelificación, peso equivalente y porcentaje de ácido galacturónico; y el proceso presenta un buen rendimiento económico.

Dadas las características anteriores de la pectina de alto metoxilo de nopal, se pudo usar como agente gelificante en la preparación de gomitas tipo golosina.

Las gomitas no se pudieron elaborar solo de pectina de alto metoxilo; ya que con esta resultaba un producto muy sólido y de textura rígida, en comparación con las gomitas de grenetina. Por lo tanto, se elaboraron gomitas de pectina de alto metoxilo con grenetina, y con ello garantizar un producto terminado con las características organolépticas deseables para este giro alimenticio como es una consistencia suave y agradable al momento de la degustación.

En cuanto a las pruebas panel, los resultados indicaron que para las gomitas de pectina de alto metoxilo-grenetina fueron satisfactorios teniendo un grado de aceptabilidad del 77.2% ($p < 0.05$), arrojando que las gomitas de nopal de alto metoxilo con grenetina gustaron mucho, por lo cual se puede decir que este tipo de producto funcional puede llegar a ser una nueva opción en el mercado, y que pueda competir con las marcas ya existentes y que pueda satisfacer ampliamente a la población, en éste caso la infantil, ofertando una golosina diferente, con un alto valor nutritivo y un aporte benéfico a la salud por el contenido de fibra soluble presente.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. 1997. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia U.S.A.
- AOAC. 2005. Methods of analysis of the Association of Official Agricultural Chemists, U.S.A.
- Abraján, V. M. A. 2008. Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago del nopal (*Opuntia ficus indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible. Tesis doctoral. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. p. 8, 10, 18, 23-25, 85-89.
- Aguilar, C. G., 2007. "Optimización del proceso de modificación del almidón de maíz ceroso por extrusión y el uso de mezclas de almidones modificados con mucílago de nopal para la encapsulación de aceites esenciales de naranja empleando el secado por aspersión". Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. Pachuca Hidalgo, México. p. 11.
- Arizmendi, C.D. 2004. "Optimización de dos compuestos plastificantes (glicerol y polietilen glicol) en la elaboración de una película plástica comestible obtenida a partir del mucílago de nopal de la especie *Opuntia tomentosa* salm-dyck". Universidad autónoma del estado de México. México, D.F.
- Arroyo, P. S., 2008. Opuntia (Nopal-Tuna): Cactus de la abundancia. Utilización agroindustrial del Nopal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Roma 2006.
- Askel, G. O. 1987. Pectin Studies Industrial and Engineering Chemistry. Editorial Acribia 2nd, España. p. 458.
- Ávila, G. M., Tovar, M. S., Yáñez, T. B., 2010. Tratamiento de la hiperglucemia con la ingesta del nopal verdura u *Opuntia ficus indica*. Escuela de enfermería. Universidad Autónoma del estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos.
- Aza, E. M. E., Méndez A. M. A., Toromoreno, L. 2011. Extracción de pectina de nopal (*Opuntia ficus indica*) por medio ácido aplicando dos niveles de temperatura, tiempo y estado de madurez. Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Escuela de Ingeniería Agroindustrial. Ibarra-Ecuador. p. 1, 5, 12-16, 20-23, 26, 94.
- Badui, D., S., 1999. Química de los alimentos. Editorial Longman. Editores, S.A. de C.V. Pearson Educación México, 3^{ra} edición. p. 105-108, 501-513.
- Bedolla, B. S., Dueñas, G. C. Esquivel, I. I., Favela, H. T. 2008. Introducción a la tecnología de alimentos, segunda edición. LIMUSA. p. 142, 143.
- Bimbo, 2012. Programa de nutrición "Comprometidos con la salud", alineado a la estrategia mundial de la OMS sobre régimen alimentario y actividad física.

- Bracounot, H. 2007. Caracterización de la pectina. Francia. Publicado en la revista CE-NIC, ciencias químicas, 2^{da} edición.
- Braverman, J., 1980. Introducción a la Bioquímica de los Alimentos. Editorial Omega. 3nd ed. El manual moderno S.A. México. p. 50, 80, 100.
- Bravo-Hollis, H. 1978. Las cactáceas de México. U.N.A.M. 2^{da} edición, volumen 1, México. p. 80.
- Cai, W., Gu, X., Tang, J., 2007. Extraction, purification, and characterization of the polysaccharides from *Opuntia milpa alta*. p. 403.
- Calvo, B. C., Gómez, C. C., López, M. C., Royo, B. A., 2011. Nutrición, salud y alimentos funcionales. 1^{ra} edición, editorial Aranzadi S.A. España. p. 456.
- Calvo, M., 1991. Pectinas. Bioquímica de los Alimentos. Universidad de Zaragoza.
- Camacho, G. M., Figueroa, G. I., Hernández M. R., Ibañez H. A., 2002. Trabajo de Tesis, Extracción de Pectina de Alto Metoxilo a partir de Nopal. Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapalapa. p. 8.
- Camacho, O. G., Cortés, J. 2002. Procesamiento y conservación de Frutas. Universidad Nacional de Colombia. Bogota, Colombia.
- Cárdenas, A., Higuera-Ciapara, I. y Goyocolea, F. M., 1997. Rheology and Aggregation of Cactus (*Opuntia ficus-indica*) Mucilage in Solution. Hermosillo, Sonora. México. p 154.
- Carreto, V. E., Quiroz F. E., 1984. Estudios preliminares para la obtención de pectina a partir de la corteza de naranja. Tesis de Licenciatura. Universidad de las Américas. México D.F.
- Cazorla, G. J., 2011. El campo de tuneras de la comarca Mala-Guatiza, Arrecife. p. 7.
- Chaidez, A., 2010. Medicina cuántica, el nopal. Universidad autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas. Nuevo León.
- Devia, P. J. E., 2003. Proceso para producir pectinas críticas. Revista Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.
- Domínguez, C., Beltran, F. X., Díaz, C. R., Sáenz, V. G., 2011. Extracción y características de pectinas. Laboratorio de Ingeniería de Procesos Agroindustriales, Nuevo Chimbote, Perú. p. 6-13.
- FAO, 2003. El nopal (*Opuntia ssp.*) como forraje. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación.
- Ferreira, A. S., 1990. Extracción y caracterización de la pectina de Uchuva. Universidad Nacional de Colombia. Santa Fé de Bogota.
- Ferrer, L. B., Dalmaus, S. J., 2001. Alimentos funcionales: probióticos. Acta pediátrica española, Vol. 59, núm. 3 Hospital infantil "La Fe". Valencia, España. p 150.

- Flores, V. C., Ramírez, M. P., Luna, E. J., 1995. Mercado Mundial del Nopalito. Universidad de Chapingo. Estado de México.
- Gilksman, M. 1996. Gum Technology in the food Industry. Academic press. New York, USA.
- González, F. 2012. Nopal, alimento, medicina y cosméticos. México.
- Granados, S. D., Castañeda P. A. D. 2000. El nopal. Historia, fisiología genética, e importancia frutícola. Tercera reimpresión. México, D. f., Ed. Trillas. p 2, 18, 21, 31, 50, 72, 75.
- Hans, R. 1900. La historia del oso Gummi. Bonn, Alemania.
- LEGISCOMEX, 2009. Inteligencia de mercados-confitería en México.
- Majdoub, H., Roudesli, S., Pictan, L., Le Cerf, D., Muller, G., Grisel, M., 2001. Prickly pear nopals pectin from *Opuntia ficus-indica* physic-chemical study in dilute and semi-dilute solutions Carbohydrate Polimers. p. 69-79.
- Mandamiento, R., Ho, A., Campos, A., Concha, J., Caballero, D. 2011. Feria de ciencia gomitas. Colegio SS. CC. Recoleta. Lima Perú. p. 3.
- Meléndez, R., Núñez, I. 2009. Bioquímica de alimentos, alimentos funcionales, probióticos y prebióticos.
- Moyano, S. 2012. Tendencias del mercado latinoamericano en golosinas.
- Muller, H. G., 1977. Introducción a la reología de los alimentos. Zaragoza, España. Ed. Acribia. p 13,14.
- Multon, J. L. 1988. Aditivos y auxiliares de fabricación en las industrias agroalimentarias. Editorial Acribia S. A. 2^{da} edición. Zaragoza, España. p. 584.
- Murray, P. G. 2000. El poder curativo del nopal. Editorial Selector. México.
- Ochoa, J., 2003. Monografía del Nopal tunero. Editorial Continental S. A. México, p 17.
- Olachea, 2011. Historia de las gomas de azúcar.
- Ornelas, N. J. L. 2011. Mejoramiento del método de extracción mucílago de nopal *Opuntia ficus indica* y evaluación de sus propiedades de viscosidad. Tesis de Licenciatura. Químico farmacobiología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Mich. p. 11-13.
- PROFECO, 2010. Tecnología Domestica Profeco en Revista del Consumidor. Número 15.5 "Gomitas con azúcar".
- Prosky, L., Asp, N. G., Schweizer, T. F., Devries, J. W., Furda, I., 1988. Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in foods and food products: interlaboratory study. J Assoc. Offic. Anal. Chem., 71 (5); 1017-1023.

- Quezada, G. J., Sosa, H. 2011. Nutrición y osteoporosis, calcio y vitamina D. Revista de osteoporosis y metabolismo mineral. Editorial Ibanéz y Plaza, España. p. 165.
- Reza, N. S., Flores, E. A. L., Alonso, N. M., y Ramírez, B. P. 2005. Evaluación de textura, color y aceptación del nopalito variedad milpa alta escaldado, a diferentes tiempos de inmersión en solución de NaCl y CaCl₂, y empacado a vacío. CNA-14. Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango. p 146.
- Rivera, G. M., 2011. Aplicación de jarabe de maíz. Molienda húmeda. Elaboración de gomitas. Universidad Autónoma de Guadalajara. Guadalajara Jalisco, México. p. 14, 16, 23.
- Rodríguez, F. A. 2002. Postharvest physiology and technology of cactus pear fruits and cactus leaves Acta Horticulturae. p. 191-199.
- Rodríguez, H. 2009. Cultivo orgánico del nopal. Editorial Trillas, 1^{ra} edición. México. p. 15-18.
- Ruiz, H. F., Guerrero, B. J. A. 2009. Aplicación de las películas comestibles a base de quimostato y mucílago de nopal en fresa (Fragancia ananasa) en refrigeración. Tesis de maestría. Ciencia en alimentos. Universidad de las Américas Puebla. Puebla. p. 21-23.
- Sáenz, C., Berger, H., Corrales, G. J., Galletti I., García, C. V., Higuera, I., Mondragón C., Rodríguez, A. F., Sepúlveda, E., Varnero M. T., 2007. Utilización agroindustrial del nopal. Reimpresión Boletín de Servicios de la FAO 162. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. Roma Italia. p 2, 3, 7, 11.
- Sáenz, C., Esparza, G., Valdez, R., y Méndez, S., 2004. Compuestos funcionales y alimentos derivados de *Opuntia ssp.* Universidad Autónoma de Chapingo. México. p 211-222.
- Sánchez, B. G., 2006. "Al Nopal no solo hay que verlo cuando tiene tunas". Cuadernos de nutrición, Fomento de Nutrición y Salud A.C., vol 29, No.2, 69-76. México, D. F.
- SEMARNAT, 2007. Instituto Nacional de ecología. México D.F.
- SIAP-SAGARPA, 2011. Anuario estadístico de la producción agrícola nacional.
- Tournefort, J. P. 1700. Elements de botanique, Francia, vol. 3.
- Untiveros, B. G. 2003. Obtención y caracterización de pectinas de alto y bajo metoxilo de la manzana variedad Pachacamac. Facultad de Ciencias y Filosofía de la Universidad Peruana Cayetano Heredia.
- Valdez, C. R. D., Blanco, M. F., Vázquez, A. R. E., y Magallanes, Q. R., 2008. Producción y usos del nopal para verdura. Edición especial N° 14. Revista de salud pública y nutrición. p 1, 6-8.
- Vauguelin, L. N. 1790. Descubridor de la pectina. Francia.

Ventrera, N., Vignoni, L., Piovillico, L., Bauza, M., 2005. Tuna (*Opuntia ficus*). Universidad Inca Garcilazo de la Vega. Lima, Perú.

Vite, P. H., Gutiérrez, H. J., León, G. M., Medellín, C. Y., Toralva, N. E., Cervantes, M. J., 1999. Trabajo de comparativo de la producción y factores limitantes del Nopal, del municipio de Tlalnepantla en el estado de Morelos. Con la producción de Milpa alta D.F. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. México, D.F.

